

Aus dem Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie  
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

**Additive Applikation ventraler Plattensysteme bei dorso-ventraler  
Stabilisierung thorakolumbalen Wirbelsäulenverletzungen**

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät  
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Sebastian-Klaas Krampe

aus Frankfurt am Main

Gutachter: 1. Priv.-Doz. Dr. med. F. Kandziora  
2. Prof. Dr. med. M.J. Raschke  
3. Prof. Dr. med. R.-J. Schröder

Datum der Promotion: 20.11.2009

<b>1 Einleitung</b>	<b>7</b>
<b>1.1 Biomechanik und Verletzungen der Wirbelsäule</b>	<b>7</b>
1.1.1 Das Zwei-Säulen-Modell	7
1.1.2 Das Bewegungssegment als kleinste funktionelle Einheit der Wirbelsäule	7
1.1.3 Stabilität und Instabilitätskonzepte von Wirbelsäulenverletzungen	8
1.1.4 Einteilung und Klassifikation von Wirbelsäulenverletzungen	9
1.1.5 Epidemiologische Angaben zu Wirbelsäulenverletzungen	10
<b>1.2 Behandlung von Wirbelsäulenverletzungen</b>	<b>11</b>
1.2.1 Historischer Überblick	11
1.2.2 Konservative Therapie	12
1.2.3 Dorsale Stabilisierung	13
1.2.4 Ventrale Stabilisierung	15
1.2.5 Wirbelkörperersatzsysteme	16
1.2.6 Kombinierte dorso-ventrale Stabilisierung	18
1.2.7 Additive Applikation eines versteifenden Plattensystems im Rahmen der dorso-ventralen Stabilisierung	18
<b>1.3 Zusammenfassung</b>	<b>19</b>
<b>1.4 Problem und Aufgabenstellung</b>	<b>19</b>
<b>2 Material und Methodik</b>	<b>20</b>
<b>2.1 Patienten</b>	<b>20</b>
<b>2.2 Operative und perioperative Daten</b>	<b>21</b>
2.2.1 Operative Daten	21
2.2.2 Perioperative Daten	22
<b>2.3 Operatives Vorgehen</b>	<b>22</b>
2.3.1 Operative dorsale Stabilisierung	22
2.3.2 Operative ventrale Stabilisierung	23
<b>2.4 Implantate</b>	<b>25</b>
2.4.1 Das Universal-Spine-System zur dorsalen Stabilisierung (Fa. Synthes, Solothurn, Schweiz)	25
2.4.2 Der expandierbare Korporektomie-Cage VBR (Fa. Ulrich, Ulm)	25
2.4.3 Der Druckplattenfixateur „St. Georg“ nach Wolter (Fa. Link, Hamburg)	26
2.4.4 Die 3,5mm LC-Platte (Fa. Synthes, Solothurn, Schweiz)	26

<b>2.5 Radiologische Auswertung</b>	<b>27</b>
2.5.1 Auswertung der konventionellen Röntgenaufnahmen	27
2.5.2 Auswertung der CT-Aufnahmen	29
<b>2.6 Klinische Nachuntersuchung</b>	<b>31</b>
2.6.1 Neurologischer Verlauf	31
2.6.2 Objektive Befundung der Wirbelsäulenbeweglichkeit	32
2.6.3 Schmerzintensität und Schmerzentwicklung	32
2.6.4 Subjektive Einschätzung der Lebensqualität	33
<b>2.7 Statistische Auswertung</b>	<b>33</b>
<b>3 Ergebnisse</b>	<b>34</b>
<b>3.1 Patientendaten</b>	<b>34</b>
<b>3.2 Operative Daten</b>	<b>37</b>
3.2.1 Vergleich von epidemiologischen, klinischen und operativen Daten zwischen der Gruppe mit additiver Plattenapplikation und der Gruppe ohne additiver Plattenapplikation	38
<b>3.3 Radiologische Ergebnisse</b>	<b>39</b>
3.3.1 Röntgenologische Messdaten des Gesamtkollektivs	39
3.3.2 Röntgenologische Messdaten in den Gruppen mit und ohne Platte	40
3.3.3 Röntgenologische Messdaten in den Untergruppen der A-, B- und C-Verletzungen	42
3.3.4 Röntgenologische Messdaten in den Untergruppen mit Wolter-Platte und LC-Platte	43
3.3.5 Röntgenologische Messdaten in der Untergruppe der Brustwirbelsäulenverletzungen	44
3.3.6 Röntgenologische Messdaten in der Untergruppe der Lendenwirbelsäulenverletzungen	45
3.3.7 Beurteilung der knöchernen Fusion in den computertomographischen Aufnahmen	45
3.3.8 Repräsentative Fallbeispiele	49
<b>3.4 Klinische Ergebnisse</b>	<b>60</b>
3.4.1 Neurologischer Verlauf	60
3.4.2 Wirbelsäulenbeweglichkeit	62
3.4.3 Schmerzintensität und Schmerzentwicklung	63

<b>4 Diskussion</b>	<b>66</b>
<b>4.1 Ergebnisse und Merkmale der Studie im Kontext einer kontrovers geführten Diskussion zur operativen Versorgung von Wirbelsäulenverletzungen</b>	<b>66</b>
<b>4.2 Die Beurteilung thorakolumbalen Wirbelsäulenverletzungen, deren operative Behandlung und ihr Heilungsverlauf im konventionellen Röntgenbild und in computertomographischen Aufnahmen</b>	<b>69</b>
4.2.1 Präoperative radiologische Diagnostik, Therapieplanung und radiologische Verlaufskontrollen	69
4.2.2 Radiologischer Verlauf: Korrektur und Korrekturverlust	70
4.2.3 Radiologischer Verlauf: Beurteilung des Sinterungs- und Migrationsverhaltens von Wirbelkörperersatzsystemen im Röntgenbild	73
4.2.4 Vergleich der vorliegenden Ergebnisse mit weiteren Studien an Korporektomie-Cage-Kollektiven: Korrekturverlust und Sinterung	75
4.2.5 Radiologischer Vergleich der Untergruppen	76
<b>4.3 Knöcherne Fusion von operativ versorgten Wirbelsäulenverletzungen</b>	<b>77</b>
4.3.1 Bedeutung der Computertomographie bei der Beurteilung der knöchernen Fusion	77
4.3.2 Fusionsergebnisse der vorliegenden Untersuchung im Literaturvergleich	79
4.3.3 Einfluss einer additiven Plattenapplikation auf das knöcherne Fusionsergebnis beim Einsatz von thorako-lumbalen Korporektomie Cages	81
4.3.3.1 Höhere Fusionsraten in der Gruppe mit additiver Plattenapplikation	81
4.3.3.2 Hohe Primärstabilität und der Begriff des „stress-shielding“: zwei Kontrapunkte in der Lehre der Knochenheilung	82
4.3.3.3 Fusionsdauer und Defektgröße	85
4.3.3.4 Protektiver Effekt einer zusätzlichen Plattenapplikation für die angelagerte Spongiosa?	87
4.3.3.5 Additive Plattenapplikation im Rahmen der zervikalen Spondylodese	88
4.3.3.6 Bedeutung des Plattendesigns bei additiver Plattenapplikation	88
4.3.3.7 Komplikationen einer additiven Plattenapplikation	89
<b>4.4 Klinische Ergebnisse</b>	<b>90</b>
4.4.1 Wirbelsäulenbeweglichkeit und Schmerzsymptomatik	90
4.4.2 Neurologischer Verlauf	91

<b>4.5 Kosten-Nutzen-Verhältnis einer additiven ventralen Plattenapplikation</b>	<b>92</b>
<b>5 Zusammenfassung</b>	<b>93</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>96</b>
<b>Erklärung an Eides statt</b>	<b>108</b>
<b>Lebenslauf</b>	<b>109</b>
<b>Danksagung</b>	<b>110</b>

# 1 Einleitung

## 1.1 Biomechanik und Verletzungen der Wirbelsäule

### 1.1.1 *Das Zwei-Säulen-Modell*

Die menschliche Wirbelsäule übernimmt im Wesentlichen zwei Aufgaben: zum Einen den Schutz der in ihr verlaufenden neurogenen Strukturen und zum Anderen die Gewährleistung einer aufrechten Körperhaltung. Whitesides veranschaulichte seine heute weitgehend akzeptierten Vorstellungen der Wirbelsäulenbiomechanik, indem er den Aufbau der Wirbelsäule mit dem eines Baukrans verglich [1]. Die ventrale Säule, bestehend aus Wirbelkörpern und Bandscheiben, entspricht dem Ausleger eines Krans und unterliegt vorwiegend einer Druckbelastung, während die dorsalen knöchernen und ligamentären Anteile (dorsale Säule) im Sinne einer Zuggurtung den vorherrschenden Zugkräften entgegenwirken.

Obwohl diese Veranschaulichung die dreidimensionale Stabilität der Wirbelsäule bei Drehbewegungen, welche durch ein komplexes Zusammenspiel der Facettengelenke und des Bandapparates gewährleistet wird, nicht erfasst, hat sich das Zwei-Säulen-Modell in der Beschreibung von Instabilitätskonzepten sowie zur Klassifikation von Verletzungen der Wirbelsäule bewährt [1, 2, 3, 4, 9].

### 1.1.2 *Das Bewegungssegment als kleinste funktionelle Einheit der Wirbelsäule*

Die Beweglichkeit der Wirbelsäule ist von der Ausrichtung der kleinen Wirbelgelenke sowie von der Spannung der Gelenkkapseln und des Bandapparates abhängig und variiert zwischen den drei Wirbelsäulenhauptabschnitten (Hals-, Brust- und Lendenwirbelsäule) zum Teil erheblich. Im Ganzen werden im dreidimensionalen Raum Beugung, Streckung, Seitwärtsneigung und Drehung der Wirbelsäule unterschieden, die durch sich aufsummierende Bewegungsausschläge der einzelnen Bewegungssegmente entstehen. Hinzu kommt noch die durch eine externe Krafteinwirkung auslösbare translatorische Verschiebung der Segmente gegeneinander. Der Bewegungsumfang nimmt von kranial nach kaudal ab und ermöglicht hierdurch eine hohe Beweglichkeit des Kopfes und der Halswirbelsäule bei gleichzeitiger statischer Absicherung durch die Lendenwirbelsäule [5].

Zur Beschreibung der kleinsten morphologischen und funktionellen Einheiten, deren Zusammenspiel die komplexen Bewegungsabläufe der Wirbelsäule ergibt, prägte Jung-hans [6] den Begriff des intervertebralen Bewegungssegmentes. Zu diesem gehören

sämtliche Verbindungen zwischen zwei Wirbelkörpern, also die Bandscheibe, die kleinen Wirbelgelenke, alle Band- und Muskelverbindungen sowie der Wirbelkanal mitsamt seinem Inhalt. Das Zusammenspiel dieser Elemente war und ist Gegenstand zahlreicher experimenteller Studien, die zu einem besseren biomechanischen Verständnis der gesunden und der verletzten Wirbelsäule führen sollen – gerade im Hinblick auf den nicht klar definierten Begriff der Instabilität von Wirbelsäulenverletzungen [2, 6, 9, 10, 11, 12, 17, 44, 89, 90, 91, 92].

### *1.1.3 Stabilität und Instabilitätskonzepte von Wirbelsäulenverletzungen*

Mit der erstmaligen Differenzierung von stabilen und instabilen Wirbelsäulenverletzungen durch Nicoll [7] begann eine bis heute geführte Diskussion über deren klinischen und diagnostischen Zeichen, entsprechende Behandlungskonzepte und pathomorphologische Korrelate [8, 9, 10, 11, 12, 13].

Während Whitesides [1] basierend auf dem Zwei-Säulen-Modell der Wirbelsäule die progressive Kyphosierung von instabilen Wirbelsäulenverletzungen mit dem Funktionsverlust der ventralen und/ oder dorsalen Säule begründete, setzte Denis [3] für die Entstehung der Instabilität einer Verletzung die Beteiligung des dorsalen Längsbandes und des dorsalen Anteils der Bandscheibe (dritte Säule) voraus und stellte sein Drei-Säulen-Modell der Wirbelsäule vor. Im Rahmen der radiologischen Diagnostik wurde der Begriff der kinematischen und der anatomischen sowie in experimentellen Studien der Begriff der biomechanischen Instabilität eingeführt [2, 10, 12, 14, 15, 16].

Häufig zitiert wird die von White und Panjabi [10] definierte klinische Instabilität:

„Clinical instability is the loss of the ability of the spine under physiologic loads to maintain its pattern of displacement so that there is no initial or additional neurologic deficit, no major deformity, and no incapacitating pain.“

Im Sinne einer weiteren therapieorientierten Differenzierung des Begriffs der Instabilität unterscheidet Blauth [2] stabile Verletzungen, bei denen unter funktioneller Behandlung keine weiteren Veränderungen der Stellung der Wirbelsäule zu erwarten sind, von geringgradig instabilen und hochgradig instabilen Verletzungen. Während bei geringgradiger Instabilität und funktioneller Behandlung mit einer Ausheilung ohne zusätzliche neurologische Störungen bei möglicher Restinstabilität im Bewegungssegment gerechnet werden kann, bedeutet eine funktionelle Behandlung von hochgradig instabilen Verletzungen ein erhöhtes Risiko für eine Verschlechterung der Fehlstellung und zusätzliche neurologische Komplikationen.



#### *1.1.4 Einteilung und Klassifikation von Wirbelsäulenverletzungen*

Mit einem sich ändernden Verständnis der Entstehung von Wirbelsäulenverletzungen und deren Stabilität bzw. Instabilität, der Weiterentwicklung der Röntgendiagnostik und in Abhängigkeit des jeweiligen Sprachraumes änderten sich auch die Klassifikationssysteme. Die Entwicklung vollzog sich von der relativ einfachen Unterscheidung zwischen stabilen und instabilen Verletzungen durch Nicoll [7] und den Kadaverstudien Lobs [17] über die Entwicklung der Zwei-, bzw. Drei-Säulen-Konzepte durch Whitesides [1] und Denis [3] zu der ersten CT-basierten Einteilung von McAfee [18], der die Frakturen besonders im Hinblick auf die Beteiligung der „dritten Säule“ [3] beurteilte. Magerl et al. [9] entwickelten ein Klassifikationssystem, welches sich heute im deutschsprachigen Raum weitgehend durchgesetzt hat. Dieses sollte leicht verständlich sein und dennoch jedes der zahlreichen Verletzungsmuster der Wirbelsäule hinsichtlich der Pathomorphologie, des Verletzungshergangs und der Heilungsaussichten beschreiben können. Basierend auf dem Konzept der Zwei-Säulen-Biomechanik von Whitesides [1] und der Auswertung von Nativ-Röntgenaufnahmen und Computertomographien erfolgt eine Zuteilung der Verletzung zu einer der drei Hauptgruppen (A, B, C), welche jeweils einen der drei Hauptverletzungsmechanismen der Wirbelsäule durch Kompression, Distraction und Rotation repräsentieren. Diese Einteilung wird durch Hinzufügen eines Gitters von Untergruppen, ähnlich dem Typ der AO-Klassifizierung von Frakturen, weiter differenziert, so dass sich anhand dieses Systems insgesamt 55 verschiedene Verletzungsmuster der Wirbelsäule unterscheiden lassen. Mit steigender alphanumerischer Graduierung nehmen Schweregrad und der Grad der Instabilität der Verletzung zu. Die Kompressionsverletzungen (Gruppe A) beschränken sich ausschließlich auf den Wirbelkörper und werden weiter in Impaktionsbrüche (A1), Spaltbrüche (A2) und Berstungsbrüche (A3) unterteilt. Eine Distractionsverletzung (Gruppe B) setzt die Verletzung von ventralen und dorsalen Anteilen der Wirbelsäule voraus. Die weitere Aufteilung ergibt sich aus der vorwiegenden Schädigung von dorsalen ligamentären Strukturen (B1), von dorsalen ossären Strukturen (B2) und der Zerreißung der Bandscheibe infolge einer Überstreckung der Wirbelsäule (B3). Der Gruppe der Rotationsverletzungen (Gruppe C) sind die Beteiligung von ventralen und dorsalen Anteilen sowie eine zusätzliche rotatorische Komponente durch eine axial einwirkende Drehkraft zum Unfallzeitpunkt gemein. In dieser Gruppe orientiert sich die weitere Einordnung am Gesamtbild der Verletzung, in dem sich neben der Rotation auch Zeichen einer A-Verletzung (C1), einer B-Verletzung (C2) oder eines translatorischen Versatzes der Wirbelkörper gegeneinander (C3) finden

lassen.

Durch die zunehmende Anwendung der Kernspintomographie in der Diagnostik von Wirbelsäulenverletzungen lässt sich heute auch das Ausmaß der diskoligamentären Schädigung besser beurteilen. Allerdings liegen noch keine Langzeitergebnisse zur Aussagekraft des präoperativen Bandscheibensignals im Bezug auf ihre späteren biomechanischen Eigenschaften vor. Es bleibt abzuwarten, welchen Stellenwert das MRT in Zukunft zur Klassifizierung der Verletzungen einnehmen wird [14, 19, 20, 21, 22, 23, 157].

#### *1.1.5 Epidemiologische Angaben zu Wirbelsäulenverletzungen*

Da in der Bundesrepublik Deutschland bislang kein zentrales Register zur Erfassung von Unfällen eingerichtet wurde, stehen auch zu den Verletzungen der Wirbelsäule keine exakten epidemiologischen Daten zur Verfügung. Die im Folgenden zitierten Angaben entstammen einer Sammelstudie der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie [24], der seit 1993 durch das Statistische Bundesamt geführten Krankheitsartenstatistik [25] und einer Studie von Bühren [4], dessen Angaben auf Hochrechnungen bekannter Fallzahlen unfallbedingter Rückenmarksverletzungen basieren. Trotz rückläufiger Zahlen von Arbeits- und Verkehrsunfällen nimmt die Gesamtzahl an Unfällen und unter diesen besonders die Zahl der hochenergetischen Unfälle mit schweren Verletzungen jährlich zu. 1996 zählte das statistische Bundesamt insgesamt 40702 Wirbelsäulenfrakturen, unter denen sich 9246 Fälle mit einer Schädigung des Rückenmarks (21% mit kompletter und 79% mit inkompletter neurologischer Läsion) fanden. Übereinstimmende Werte zeigen sich in der Literatur bezüglich der Verteilungshäufigkeiten. Von allen Verletzungen der Wirbelsäule betreffen in etwa 20% die Hals- und 80% die Brust- und Lendenwirbelsäule, unter diesen wiederum mehr als die Hälfte den thorakolumbalen Übergang Th10-L2 und hierunter wiederum 49% das Segment Th12-L1. Diese Häufung wird auf die sich ändernden Achsenverhältnisse zwischen der kyphotischen Brust- und der lordotischen Lendenwirbelsäule, den Wegfall der stabilisierenden Wirkung des Brustkorbes und die Stellung der Zwischenwirbelgelenke zurückgeführt. In einem Kollektiv von 1445 Patienten wurden durch Magerl [9] in zwei Dritteln der Fälle eine A-Verletzung und in je einem Sechstel eine B-, bzw. C-Verletzung diagnostiziert. Annähernd zwei Drittel der Verunfallten sind männlich mit einem deutlichen Altersgipfel zwischen dem 20. und 40. Lebensjahr gegenüber einem Drittel weiblicher Verunfallter. Hinsichtlich der Unfallursache stehen in Abhängigkeit der jeweiligen Studie entweder

die Verkehrsunfälle [2, 4] oder Stürze aus großer Höhe mit 50% [25] an erster Stelle. Weitere Ursachen sind Arbeits- Sport- und Badeunfälle. Patienten, die sich bei einem „banalen Sturz“ verletzt, waren mit einem Durchschnittsalter von 46 Jahren signifikant älter [24].

## **1.2 Behandlung von Wirbelsäulenverletzungen**

### *1.2.1 Historischer Überblick*

Frakturen der thorakolumbalen Wirbelsäule wurden bis ins 20. Jahrhundert hinein von den meisten Chirurgen rein konservativ nach den Prinzipien der Reposition und Retention behandelt, während sich offene Eingriffe lediglich auf die Entfernung leicht zugänglicher Knochenfragmente und Geschosse beschränkten [2]. In den 30er Jahren wurden von Böhler und Magnus einige noch heute für die Behandlung von Typ A-Verletzungen ohne neurologisches Defizit geltende Lehrsätze der konservativen Therapie festgeschrieben [2, 4, 26, 27, 28, 29]. Ebenfalls von aktuellem Stellenwert sind die von Böhler [186] formulierten Behandlungsziele von Wirbelsäulenverletzungen:

„Wir wollen nicht nur, dass die Lähmung verschwindet, sondern dass der Verletzte auch seine frühere normale Form, Beweglichkeit und Kraft wiedererlangt.“

Dieser Forderung nach Wiederherstellung der stabilen, dynamischen und protektiven Funktionen der Wirbelsäule fügt die moderne Therapie noch das Ziel der Schmerzfreiheit des Patienten hinzu [27].

Die Fortschritte der radiologischen Diagnostik mit Beginn in den 20er Jahren des letzten Jahrhunderts ermöglichten eine bessere Darstellung der Verletzungsformen und ebneten den Weg für die Entwicklung von Implantaten zur Behandlung von Verletzungen mit neurologischem Defizit und konservativ nicht reponierbaren Fehlstellungen [2]. Über einen dorsalen Zugang wurden die betroffenen Segmente in den 50er Jahren mittels Verplattung der Dornfortsätze und ab 1962 über das Einbringen der sublaminär verankerten Harrington-Stabsystemen stabilisiert. Einen entscheidenden Fortschritt bedeutete die 1972 durch Roy-Camille vorgestellte Entwicklung der transpedikulären Schraubenfixation, durch die sich die Versteifung der Wirbelsäule auf wenige Segmente verringern ließ. Hiervon leiteten sich der Fixateur externe nach Kluger [30] und der Fixateur interne nach Magerl und Kluger [31] ab, von denen Letzterer heute in Europa das Standardimplantat zur dorsalen Instrumentierung darstellt [2].

Basierend auf der Überlegung, dass sich der neurologische Verlauf durch Entfernung prolabierter Wirbelkörperfragmente in den Spinalkanal mit Dekompression des Myelons

verbessern sowie eine höhere Stabilität durch Wiederaufrichten der vorderen Säule erreichen ließe, wurden in den 80er Jahren Operationstechniken und Implantate entwickelt, die einen ventralen Zugang zur Wirbelsäule notwendig machten [2, 4, 27, 33]. Bohlman [33] berichtete 1980 von 100 Patienten, die an der zervikalen, thorakalen und thorakolumbalen Wirbelsäule korporektomiert wurden. Die Substanzlücke wurde jeweils mit einem, dem Beckenkamm entnommenen, Knochenspan überbrückt. Haas [32] empfahl zur Stabilisierung dieses Konstruktes eine zusätzliche Applikation winkelstabiler anteriorer Plattensysteme. Häufig verwendete Implantate waren das Kaneda- [34] und das Slot-Zielke-Instrumentarium [35]. Zu Anfang der 90er Jahren begann ursprünglich in der Tumorchirurgie die Entwicklung so genannter Korporektomie-Cages, die in expandierbarer oder nicht expandierbarer Ausführung als Platzhalter für ausgeräumte Wirbelkörper dienen sollten [36, 37, 38, 39, 104, 105, 106, 107]. Im Sinne der Reduzierung der Operationsmorbidity wurde in jüngster Zeit über minimal-invasive und endoskopisch kontrollierte Operationstechniken zur Einbringung einiger der oben erwähnten Implantate berichtet [40, 41, 116, 117, 118].

### *1.2.2 Konservative Therapie*

Obwohl die Verletzungen der thorakalen und thorakolumbalen Wirbelsäule in den letzten Dekaden mit zunehmender Häufigkeit der operativen Versorgung zugeführt wurden, wird bis heute eine Diskussion über die Indikationen und Grundzüge der konservativen Behandlung geführt [2, 4]. Entscheidend geprägt wurde die Entwicklung dieser Diskussion bereits in den frühen 30er Jahren des vergangenen Jahrhunderts durch die unterschiedlichen Ansichten Böhlers und Magnus'. Böhler schlug vor, das Konzept des Einrichtens und der Ruhigstellung knöcherner Frakturen auf die Frakturen der thorakolumbalen Wirbelsäule zu übertragen, indem diese durch Hyperlordosierung mit Hilfe eines Flaschenzugsystems reponiert und anschließend unter Bildwandlerkontrolle noch im dorsalen Durchhang durch die Anpassung eines 3-Punkte-Gipskorsetts versorgt und für 12 bis 20 Wochen ruhig gestellt werden sollte. In diesem Korsett sollte der Patient rasch mobilisiert und zur Stärkung der Rückenmuskulatur einer konsequenten Wirbelsäulengymnastik zugeführt werden. Allerdings beschränkten Böhler und seine Anhänger dieses Vorgehen auf die große Gruppe der Kompressionsfrakturen mit einem Kyphosewinkel kleiner 20°, während die komplizierten Berstungs- und Verrenkungsbrüche operativ angegangen werden mussten [42, 47, 186]. Dieses Vorgehen wurde von dem Gedanken getragen, dass sich durch das Aufrichten des frakturierten Wirbelkörpers und

der Normalisierung der Achsenverhältnisse sekundäre Abnutzungserscheinungen anderer Wirbelsäulenabschnitte vermeiden ließen. Schiestel's [205] Ergebnisse einer Nachuntersuchung von 610 Patienten wiesen eine direkte Korrelation zwischen dem Ausmaß der posttraumatischen Kyphose und spondylotischen Veränderungen der Wirbelsäule nach.

Demgegenüber stand die von Magnus und den Vertretern seiner Schule geteilte Ansicht, dass ein reponierter Wirbelkörper nach einer gewissen Zeit seine ursprüngliche Fehlstellung wieder einnimmt [2, 4]. Nachträgliche Bestätigung fanden diese durch Plau's [44] experimentellen Nachweis, der einem auf die Hälfte seiner ursprünglichen Höhe komprimierten Wirbelkörper annähernd die gleiche Belastbarkeit eines gesunden Wirbelkörpers bescheinigen konnte. Die frühfunktionelle Therapie sieht von daher bis heute nach relativ kurzen immobilisierenden Liegezeiten die frühe krankengymnastische Beübung ohne Berücksichtigung der Fehlstellung unter bedarfsgerechter Analgetikagabe vor. Treten unter dieser Behandlung starke Schmerzen auf, so kann zur Ruhigstellung der Verletzung ein 3-Punkte-Korsett angelegt werden [2, 4, 29]. Verglichen mit der Methode nach Böhler liegt der Vorteil dieser Vorgehensweise in der verbesserten Patientenakzeptanz und dem verringerten Behandlungsaufwand. Mehrere Langzeitstudien haben gezeigt, dass die röntgenologischen und klinischen Ergebnisse der frühfunktionellen Behandlung von stabilen Kompressionsfrakturen ohne neurologisches Defizit weder den Ergebnissen der Methode nach Böhler noch denen einer operativen Stabilisierung unterlegen sind [28, 45, 46, 47, 48].

Im Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie der Charité (Berlin) werden Patienten konservativ nach einem modifizierten Konzept nach Magnus mit oder ohne 3-Punkte-Korsett behandelt. Die Indikation hierzu wird bei allen stabilen Kompressionsfrakturen vom Typ A1 und A2 gestellt, unter Ausschluss der zur Pseudarthrose neigenden A2.3-Frakturen. Ebenso können A3.1 und A3.2 der konservativen Therapie zugeführt werden, wenn die Wirbelkörperhinterkante nur geringfügig betroffen ist. Ausgeschlossen sind Verletzungen mit neurologischem Defizit oder einem Kyphosewinkel von mehr als 20°, sowie alle Verletzungen vom Typ B und C [29]. Regelmäßige Röntgenverlaufskontrolle dienen dem frühzeitigen Erkennen einer zunehmenden Fehlstellung, so dass diese Fälle einem operativen Vorgehen zugeführt werden können.

### *1.2.3 Dorsale Stabilisierung*

Die verschiedenen Implantate zur dorsalen Stabilisierung wurden alle unter den Ge-

sichtspunkten der bereits erläuterten Ziele in der Behandlung von Wirbelsäulenverletzungen entwickelt. Ihre Anwendung dient der Reposition der Fehlstellung, der Dekompression des Spinalkanals und der Retention der korrigierten Achsenverhältnisse und kann ergänzt werden durch die Rekonstruktion der vorderen Säule. Allerdings weisen sie in Abhängigkeit ihres Designs und der an der Verletzung beteiligten Wirbelsäulenanteile zum Teil sehr unterschiedliche Wirkungsmerkmale auf. Von besonderer Bedeutung sind die verbliebene Tragfähigkeit der ventralen Säule und die Integrität der dorsalen Strukturen, insbesondere der interspinösen Bänder, der Wirbelbögen, des dorsalen Anulus fibrosus und des hinteren Längsbandes [4].

Es werden zuggurtende, distrahierende und neutralisierende Implantate unterschieden, von denen Letztere mehrere erwünschte Eigenschaften aufweisen und die heute zumindest im europäischen Raum regelmäßig zum Einsatz kommen [27]. Zu den zuggurtenden Implantaten werden als frühester Vertreter die heutzutage obsoleten Zuggurtungsdrähte für die Dornfortsätze, sowie das sehr stabile Harrington-Kompressionsinstrumentarium und alle transpedikulär verankerten Implantate wie die Wirbelsäulenplatten nach Roy-Camille [43], Fixateur externe [30, 111] und Fixateur interne [31] gezählt. Diese sind bei kurzstreckigen Fusionen von der Tragfähigkeit der Pedikel abhängig und nutzen die dorsalen Strukturen als Hypomochlion. Bei der Überbrückung mehrerer Segmente kommt es zu einer Drei- oder Vierpunktstützung.

Der entscheidenden Bedeutung der Distraction im Rahmen des Repositionsmanövers tragen die distrahierenden Implantate Rechnung. Bei Unversehrtheit des dorsalen Längsbandes und des Anulus fibrosus kommt es durch Distraction der Wirbelsäule über das Prinzip der „Ligamentotaxis“ [27, 49] zu einer Ausrichtung prolabierter Hinterkantenfragmente in ihre ursprüngliche anatomische Lage und somit zu einer Dekompression des Spinalkanals. Das ursprünglich für die Behandlung der Skoliose entwickelte Harrington-Distraktionsinstrumentarium galt lange Zeit als Gold-Standard, wurde aber von anderen Implantaten weitestgehend abgelöst [27, 49, 88].

Neutralisierende Implantate wie die von Kluger et al [30] und Dick et al [31] entwickelten transpedikulär verankerten Fixateur externe und Fixateur interne können aufgrund ihrer schienenden Wirkung auch bei Verlust der Tragfähigkeit der vorderen Säule verwendet werden. Sie vereinen zuggurtende und distrahierende Eigenschaften und ermöglichen eine winkelstabile kurzstreckige Retention, die bei zusätzlicher Anlagerung von kortikospongiossem Material die Voraussetzung für eine dauerhafte Fusionierung schafft. Der Fixateur interne hat seine hervorragende Stellung in Europa bis heute behaupten kön-

nen und wird in großen Studien als das am häufigsten verwendete Implantat zur dorsalen Stabilisierung angegeben [50, 51, 52, 88]. Im Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie der Charité (Berlin) wird das Universal Spine System (Fa. Synthes, Solothurn, Schweiz) mit den so genannten Schanz-Schrauben verwendet. Neben dem herkömmlichen Weg der Instrumentierung mit Hautinzision in der Mittellinie über den Dornfortsätzen, Präparation der Muskulatur und Pedikel und Platzierung der Schanz-Schrauben, die unter CT-Navigation erfolgen kann, wurde auch von der Möglichkeit einer perkutanen Instrumentierung berichtet [54].

In der Auswertung mehrerer Studien, die die radiologischen, neurologischen und klinischen Ergebnisse von konservativ und operativ behandelten Patienten miteinander verglichen, stellte Blauth [27] zwar eine Überlegenheit der dorsalen Stabilisierung bezüglich des postoperativen Korrekturverlustes gegenüber dem konservativen Vorgehen fest. Ein Überlegenheitsnachweis fehlt jedoch bis heute für die funktionellen und neurologischen Langzeitergebnisse [27, 28, 45].

Vielmehr sind auch die radiologischen Langzeitergebnisse der alleinigen dorsalen Stabilisierung enttäuschend. Es muss in Abhängigkeit des Implantats mit einem postoperativen Korrekturverlust von 5-10° innerhalb der ersten achtzehn Monate nach dem Eingriff gerechnet werden [22, 27, 51, 52, 55, 56, 57, 58, 85, 115, 165], weswegen die Forderung nach der operativen Mitversorgung der ventralen Säule zur Aufrichtung des komprimierten Wirbelkörpers laut wurde. Daniaux [59] stellte als Alternative zu dem aufwendigen ventralen Zugang die Technik der transpedikulären Spongiosaplastik vor, bei der über die aufgebohrten Pedikel im Anschluss an die Reposition die hierbei entstehende Defekthöhle im Wirbelkörper mit kortikospongiösem Material des Beckenkammes aufgefüllt wurde. Trotz viel versprechender Kurzzeitergebnisse blieb dieses Verfahren in Studien mit einem Nachuntersuchungszeitraum von mehr als drei Jahren den Beweis der Überlegenheit gegenüber anderen dorsalen Stabilisierungstechniken schuldig [58, 59, 61, 108, 114]. Als Gründe für den Korrekturverlust werden die Höhenminderung der ebenfalls betroffenen Bandscheiben [59, 108] sowie die schlechte Einheilungsrate der Spongiosaplastik [61] diskutiert.

#### *1.2.4 Ventrale Stabilisierung*

Bohlman [33] und Benzel [62] konnten nachweisen, dass Patienten mit einem incompletten neurologischen Defizit oder Zeichen einer Nervenwurzelkompression aufgrund dislozierter Fragmente von einer ventralen Dekompression des Spinalkanals pro-

fitieren können. Bei diesem Vorgehen wird der verletzte Wirbelkörper in Abhängigkeit seiner Lokalisation über eine Thorakotomie, eine Thorakophrenolumbotomie oder eine Lumbotomie erreicht und, wenn erforderlich, zusammen mit den angrenzenden Bandscheiben ausgeräumt. Nach Entfernung der Fragmente unter Sicht wird ein dem Beckenkamm entnommener kortikospongiöser Span der Defekthöhle angepasst und eingebolzt. Dies führt allerdings nur bei Verletzungen mit intakter dorsaler Zuggurtung und unbeteiligttem vorderen und hinteren Längsband zu einer ausreichenden Stabilisierung des betroffenen Segmentes [63, 64].

Verschiedene ventral einzubringende Platten- und Stabsysteme wurden entwickelt, um eine Erhöhung der Stabilität zu erreichen und den Span vor Dislokation und einwirkenden Kräften zu schützen [60, 63, 65, 66, 67, 68, 69, 86, 102, 103]. Unter diesen sind die Doppelplattenosteosynthese nach Tscherne und das Kaneda-Implantat mit guten Ergebnissen in experimentellen und radiologischen Untersuchungen hervorzuheben [32, 63, 69].

Aufgrund der Nachteile des ventralen Zugangs wie z.B. den hohen technischen Anforderungen, der belastenden Operationsmorbidity insbesondere für polytraumatisierte Patienten und den Komplikationen der autogenen Knochentransplantation wird dieses Verfahren von einigen Autoren kritisch betrachtet [32, 36, 63, 70, 71, 72, 73].

Die Transplantation von autogenem Knochenmaterial aus dem Beckenkamm, den Rippen, Femur oder Fibula ist mit einer Reihe spezifischer Probleme verbunden. Infolge unzureichender biomechanischer Eigenschaften kann es zur Zerrüttung oder Einsinkung des Transplantats und zur Bildung von Pseudarthrosen mit dem Verlust der korrigierten Achsenstellung kommen [36, 63, 72]. Weiterhin sind Osteonekrosen des Knochenspanns sowie Infektionen, Blutungen und Schmerzen am Ort der Entnahme möglich [36, 72, 73].

#### *1.2.5 Wirbelkörperersatzsysteme*

Aufgrund der im Zusammenhang mit der Knochenspantransplantation auftretenden Probleme kam es in den vergangenen zehn Jahren zur Weiterentwicklung und dem zunehmenden Einsatz verschiedener Wirbelkörperersatzsysteme, die hinsichtlich der biomechanischen Stabilität den Knochenspänen überlegen sind [34, 74, 38, 75, 76, 93, 94, 95, 104, 112, 113]. Ursprünglich für die Tumorchirurgie entwickelt, sollten diese Implantate bei spondylektomierten Patienten mit eingeschränkter Lebenserwartung eine hohe Primärstabilität gewährleisten und damit eine rasche Mobilisierung ermöglichen [105,



106, 107]. Eine Entfernung des Implantats war nicht vorgesehen. Die heutzutage in der Wirbelsäulentraumatologie gängigen Implantate, so genannte Korporektomie-Cages wie der Cage nach Harms (Fa. DePuy Acromed, Sulzbach, Deutschland), das VBR (Fa. Ulrich, Ulm, Deutschland) und der Synex Cage (Fa. Synthes, Solothurn, Schweiz) sind metallische Hohlkörper aus Titan, die im Rahmen der Aufrichtung der ventralen Wirbelsäule anstelle eines Knochenspans in die Defekthöhle eingesetzt werden. Durch Auffüllung des Cages mit kortikospongiösem Material wird eine knöcherne Fusion der betroffenen Segmente angestrebt.

Bei einer Vielzahl von unterschiedlich gestalteten Implantaten findet besonders die Unterscheidung zwischen nicht-expandierbaren und den jüngeren expandierbaren Ausführungen Beachtung. Während die nicht-expandierbaren Cages häufig eine intraoperative Probeimplantation und Explantation des Cages zur Anpassung an die Defekthöhle erforderlich machen, erlauben die expandierbaren Cages dem Operateur eine bequemere Handhabung. Das Aufdrehen des Cages auf die erwünschte Höhe in situ ermöglicht eine genaue Anpassung und führt zu einer Vorspannung des ventralen Bandapparates, wodurch sich bei zusätzlicher dorsaler Instrumentation ein synergistischer Effekt erzeugen lässt [38].

Der weit verbreitete Einsatz von so genannten Interbody-Fusion Cages in der Behandlung von degenerativen Bandscheibenerkrankungen, bei der ebenfalls eine knöcherne Fusion der angrenzenden Bewegungssegmente angestrebt wird, hat trotz guter klinischer Ergebnisse einige Fragen zur Optimierung der Einheilungsrate solcher Implantate aufgeworfen. Mit welchen Materialien zur Auffüllung der Cages lassen sich die besten Fusionsraten erzielen? Welchen Stellenwert haben z. B. die Steifigkeit und die Größe der Poren eines Cages auf das sog. Stress-Shielding und die Einheilung des Cageinhaltes [36, 74, 77, 78, 79, 80, 81, 139, 140, 141, 147, 158, 187] ?

Ein weiteres Gebiet des wissenschaftlichen Interesses betrifft die Weiterentwicklung der seit einigen Jahren praktizierten minimal-invasiven und endoskopisch-assistierten Versorgung von thorakolumbalen Verletzungen. War diese anfangs noch mangels geeigneter Systeme nur beschränkt durchführbar, so stehen heutzutage eine große Zahl von Wirbelkörperersatzsystemen und Platten zur endoskopischen und minimal-invasiven Implantation zur Verfügung. Mit diesen Techniken vertraute Operateure können bei nur gering erhöhtem Zeitaufwand, deutlich reduzierter Operationsmorbidity und beschleunigtem postoperativen Heilungsverlauf die ventrale Stabilisierung an jedem Segment der thorakolumbalen Wirbelsäule durchführen [40, 41, 51, 76, 82, 83, 84, 113, 116,

117, 118].

### *1.2.6 Kombinierte dorso-ventrale Stabilisierung*

Eine rein dorsale bzw. ventrale operative Versorgung instabiler thorakolumbaler Wirbelsäulenverletzungen (Typ A3, B und C) kann den Anforderungen nach einer dauerhaften Stabilisierung und der Retention annähernd physiologischer Achsenverhältnisse nicht gerecht werden. Bei Zerstörung der dorsalen osteoligamentären Elemente hat eine alleinige ventrale Intervention, sei es mit autogenen Knochenspänen oder einem Korporrektomie-Cage, einen unweigerlichen Korrekturverlust zur Folge. Ebenso verhält es sich bei einem ausschließlich dorsalen Vorgehen. Viele Autoren befürworten deshalb die kombinierte dorso-ventrale Versorgung, in der sich die Vorteile beider Verfahren verbinden lassen [4, 20, 27, 32, 35, 36, 39, 63, 70, 75, 79, 85, 87, 112, 113, 114]. Die transpedikulären Implantate bieten eine gute Möglichkeit der Reposition von Fehlstellungen und gewährleisten eine hohe Primärstabilität, während über einen ventralen Zugang die vollständige Dekompression des Spinalkanals sowie die Aufrichtung und Fusion der geschädigten vorderen Säule ermöglicht wird. Die Korporrektomie-Cages zeigen sich dabei hinsichtlich der erreichbaren Stabilität und des postoperativen Korrekturverlustes dem trikortikalen Beckenkammspantransplantat gegenüber überlegen [20, 36, 70, 75].

Unklar ist, ob die dorso-ventrale Stabilisierung ein- oder zweizeitig durchgeführt werden sollte. Für das einzeitige Vorgehen sprechen der kürzere Krankenhausaufenthalt und eine höhere Patientenakzeptanz [27, 70]. Im Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie der Charité (Berlin) wird in Abhängigkeit des Patienten und des Verletzungsmusters das zweizeitige Vorgehen mit primärer Stabilisierung von dorsal und der ventralen Versorgung innerhalb von sieben bis 14 Tagen bevorzugt.

Da sich die überlegenen experimentellen und radiologischen Ergebnisse nicht in der klinischen Evaluation der von dorso-ventral versorgten Patienten widerspiegeln, wird angesichts des hohen technischen und operativen Aufwandes weiterhin kontrovers über dieses Verfahren diskutiert [19, 20, 32, 56, 58, 63, 70].

### *1.2.7 Additive Applikation eines versteifenden Plattensystems im Rahmen der dorsoventralen Stabilisierung*

Es liegen die Ergebnisse zahlreicher Studien zu den biomechanischen Eigenschaften ventral implantierbarer, winkelstabiler Platten- und Stabsysteme vor, denen eine Verankerung mit mindestens einer Schraube pro Wirbelkörper und eine Instrumentierung über

meist nur ein Bewegungssegment gemein ist [16, 36, 60, 64, 67, 75, 80, 82, 84, 102, 109, 129, 141]. Die mechanische Steifigkeit und die Konstruktstabilität variieren zum Teil erheblich in Abhängigkeit von dem Design [60, 67]. Experimentelle Kadaverstudien konnten zeigen, dass die additive Plattenapplikation bei der Versorgung der ventralen Säule mit einem allogenen Knochentransplantat zu einer Reduktion der axialen Druckbelastung des Knochenspans um bis zu 65% [67] und zur Abnahme der Beweglichkeit für Flexion/ Extension, Rotation und Seitwärtsbeugung des instrumentierten Abschnittes im Vergleich zu intakten, nicht instrumentierten Wirbelsäulenpräparaten führt [36, 60, 64]. Im Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie der Charité (Berlin) wurde die, ursprünglich für die dorsale Instrumentierung entwickelte, Wirbelsäulenplatte „St. Georg“ (Fa. Waldemar Link, Hamburg, Deutschland) [96] sowie die LC-Platte (Fa. Synthes, Solothurn, Schweiz) und das MACS-TL-Implantatsystem (Fa. Aesculap, Tuttlingen, Deutschland) verwendet.

Kandziora [36] erbrachte den Nachweis, dass sich die Steifigkeit eines Wirbelsäulensegmentes nach Korporektomie, Interposition eines Cages und dorsaler Stabilisierung durch die zusätzliche Applikation eines anterioren winkelstabilen Plattensystems signifikant steigern ließ. Noch ist aber unklar, ob sich dadurch der postoperative Korrekturverlust, mit dem auch bei der dorso-ventralen Versorgung gerechnet werden muss, weiter vermindern lässt.

### **1.3 Zusammenfassung**

Im Rahmen der Versorgung von thorakolumbalen Wirbelsäulenverletzungen wird die Gewährleistung einer hohen Primärstabilität gefordert. Instabile Verletzungen mit Zerstörung der vorderen Säule sollten von dorsal und ventral instrumentiert werden. Dabei kommen mit zunehmender Häufigkeit die modernen Wirbelkörperersatz-Cages zum Einsatz. Zusätzlich hierzu kann die Implantation eines ventralen Plattensystems die Primärstabilität erhöhen, allerdings unter den Bedingungen eines höheren operativen und finanziellen Aufwandes. Zahlreiche Studien haben sich mit den biomechanischen Eigenschaften dieser Systeme und deren Einfluss auf den klinischen und radiologischen Verlauf von Verletzungen, die mit einem Knochenspantransplantat versorgt wurden, befasst. Der Nutzen einer zusätzlichen Applikation ventraler Plattensysteme bei Patienten mit einem Korporektomie-Cage wurde noch nicht untersucht.

### **1.4 Problem und Aufgabenstellung**

Bislang liegen keine publizierten klinischen und radiologischen Langzeitergebnisse zu

den Auswirkungen einer additiven ventralen Plattenapplikation im Rahmen der dorso-ventralen Versorgung von thorakolumbalen Wirbelsäulenverletzungen vor. Deshalb sind einige Fragen bezüglich deren Anwendung unbeantwortet. Beschleunigt die additive Plattenapplikation die knöchernen Fusion des stabilisierten Wirbelsäulenabschnittes oder wird durch die Erhöhung der Primärstabilität und des „stress-shielding“-Effektes die Fusion verzögert und damit die erwünschte Langzeitstabilität später erreicht [36, 109, 167, 168, 169]? Besteht eine Abhängigkeit zwischen dem Typ der Verletzung oder dem Design des Implantats und dem radiologischen Heilungsverlauf? Läßt sich der höhere operative und finanzielle Aufwand rechtfertigen?

Das Ziel der vorliegenden Untersuchung war, den Nutzen einer additiven ventralen Plattenapplikation an einem Kollektiv dorsoventral versorgter Patienten mit thorakolumbalen Wirbelsäulenverletzungen zu untersuchen. Jeder Patient hatte einen Korporektomie-Cage erhalten. Annähernd die Hälfte der Patienten wurde zusätzlich mit einem ventralen Plattensystem instrumentiert. Es wurden prä- und intraoperative Daten in einer Datenbank zusammengestellt und aufgearbeitet. Der Schwerpunkt der Arbeit lag auf der Auswertung der im Rahmen der postoperativen Nachuntersuchungen gesammelten klinischen und radiologischen Befunde.

## **2 Material und Methodik**

### **2.1 Patienten**

Das Patientenkollektiv umfasst 75 Patienten mit thorakolumbalen Wirbelsäulenverletzung, die in dem Zeitraum von April 1999 bis März 2003 im Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie der Charité, Campus Virchow-Klinikum in Berlin operativ versorgt wurden. Die Klassifikation nach Magerl [9] ergab eine Häufigkeit von 31 A-, 30 B- und 14 C-Verletzungen, die auf die Abschnitte BWK6 bis LWK5 verteilt waren. Der neurologische Befund zum Zeitpunkt der stationären Aufnahme sowie bei späteren Nachuntersuchungen erfolgte gemäß der Einteilung nach Frankel/ ASIA [97, 98].

Alle Patienten wurden mit einem Korporektomie-Cage (VBR, Fa. Ulrich, Ulm, Deutschland) und 71 (94,6%) zusätzlich von dorsal mit einem Fixateur interne (USS, Fa. Synthes, Solothurn, Schweiz) versorgt. 40 Patienten (53,3%) erhielten ein additives ventrales Plattensystem (21 mal „St. Georg“, Fa. Waldemar Link, Hamburg, Deutschland, 19 mal LC-Platte, Fa. Synthes, Solothurn, Schweiz). Insgesamt waren zehn erste Operateure mit der ventralen Stabilisierung betraut. Die Indikation zur Implantierung eines Plattensystems richtete sich nach dem Ausmaß der intraoperativ befundeten Instabilität

(z.B. Zerreißung des vorderen Längsbandes). Im Anschluss an die stationäre Behandlung wurden die Patienten nach drei, sechs, zwölf und 24 Monaten zu ambulanten Nachuntersuchungen eingeladen, die der klinischen und radiologischen Verlaufskontrolle und gegebenenfalls der Indikationsstellung zur dorsalen Implantatentfernung dienten. Patienten, die sich nicht auf eigene Initiative hin zur Nachuntersuchung einfanden, wurden angeschrieben, wobei in einigen Fällen Ermittlungen über das Landeseinwohnermeldeamt angestellt werden mussten.

Es wurde eine Datenbank mit Angaben zu den Patienten, den Verletzungen und deren Behandlung angelegt. Die Daten entstammen in erster Linie Operationsberichten, Arztbriefen und Befunden der Nachuntersuchungen.

Folgende epidemiologische Daten wurden gesammelt und ausgewertet:

- Alter und Geschlecht der Patienten
- Zeitpunkt des Unfalls, der stationären Aufnahme, der operativen Versorgung und der Nachsorgeuntersuchungen
- Unfallursache
- Lokalisation und Klassifikation der Wirbelsäulenverletzung nach Magerl [9]
- Neurologischer Befund und Einteilung nach ASIA/ Frankel [97,98] zum Zeitpunkt der Aufnahme und im weiteren stationären und poststationären Verlauf
- Begleitverletzungen
- Angaben zum Aufenthaltsort der Patienten während des poststationären Verlaufs (Wohnsitzwechsel, geschlossene psychiatrische Einrichtung etc.)

## **2.2 Operative und perioperative Daten**

Alle operativen und perioperativen Daten der vorliegenden Studie entstammen Operationsberichten, welche von den ersten Operateuren im Anschluss an den jeweiligen Eingriff dokumentiert wurden, sowie den im weiteren Verlauf verfassten Zwischenberichten und Entlassungsbriefen des Centrums für Muskuloskeletale Chirurgie der Charité (Berlin).

### *2.2.1 Operative Daten*

Folgende Angaben zur operativen Versorgung wurden dokumentiert:

- Namen der Operateure
- Dauer der Operation (dorsaler und ventraler Eingriff)
- intraoperative Komplikationen

- Anzahl und Lokalisation der korpektomierten und diskektomierten Bewegungssegmente
- Anzahl, Typ und Konfiguration der Implantate
- weitere Maßnahmen zur Versorgung der Wirbelsäulenverletzung wie Laminektomie, Entnahme von Spongiosa und/oder corticospongiösen Spänen aus dem Beckenkamm, Knochenspanimplantation, Anlagerung von Spongiosa und neurochirurgische Versorgung von Rückenmark und/ oder Rückenmarkshäuten
- bei Patienten mit einem Polytrauma wurden auch alle weiteren operativen Schritte der Erstversorgung festgehalten

### 2.2.2 Perioperative Daten

Hierunter fallen folgende Angaben:

- Dauer der intensivmedizinischen Überwachung
- Verordnung eines Korsetts
- Gehfähigkeit bei Entlassung
- Entlassungsmedikation

## 2.3 Operatives Vorgehen

### 2.3.1 Operative dorsale Stabilisierung

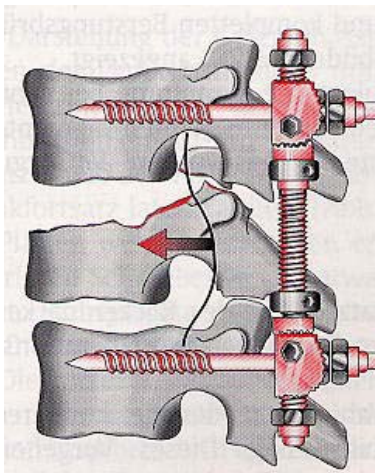


Abb.1: Dorsale Stabilisierung

Die kombinierte dorso-ventrale Versorgung erfolgte im Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie der Charité (Berlin) in der Regel zweizeitig. Die Implantation eines dorsalen Fixateur interne konnte bei polytraumatisierten Patienten auch während des Bereitschaftsdienstes innerhalb kurzer Zeit nach dem Unfallereignis schnell und komplikationsarm durchgeführt werden. Dabei wurde in der Regel durch Längszug und Lordosierung des in Bauchlagerung positionierten Patienten ein erster Versuch der geschlossenen Reposition der Fehlstellung unternommen. Die Hautinzision verlief entlang der Mittellinie über den Dornfortsätzen. Es folgten die möglichst gewebeschonende Ablösung der Rückenmuskulatur und die Darstellung der Eintrittspunkte für die Pedikelschrauben, was in rund einem Viertel der Patienten mittels CT-basierter Navigation erfolgte. Nach der transpedikulären Präparation der Schraubenkanäle konnten die

Schanz-Schrauben eingebracht, die Fraktur reponiert und das Stabsystem des Fixateur interne montiert werden. Die intraoperative Durchleuchtung in zwei Ebenen diente der Kontrolle der Implantatlage und des Repositionsergebnisses. Die Operation konnte bei Verlagerung dislozierter Hinterkantenfragmente durch eine zusätzliche Laminektomie zur Dekompression des Spinalkanals erweitert werden. Selbst bei komplizierten Verletzungsformen ließ sich hierdurch eine ausreichende Stabilität bis zum Zeitpunkt der Rekonstruktion der vorderen Säule gewährleisten [2].

### *2.3.2 Operative ventrale Stabilisierung*

Die Indikation zur ventralen Stabilisierung wurde nach der Auswertung der in CT-Schichtbildern dargestellten Schädigung der ventralen Wirbelsäulenanteile und der entsprechenden Klassifikation nach Magerl [9] gestellt. Der Eingriff erfolgte innerhalb von durchschnittlich vierzehn Tagen nach der dorsalen Versorgung. Als Zugang wurde bei Schädigung der Wirbelkörper BWK4 bis BWK11 meist die rechtsseitige, laterale Thorakotomie in Linksseitenlage gewählt. BWK 12 bis LWK 2 wurden über eine linksseitige tiefe laterale Thorakotomie mit Zwerchfellspaltung erreicht oder alternativ über die ausgedehnte Thorakolumbophrenotomie, die den dritten Lendenwirbelkörper einbezieht. LWK2 bis LWK5 wurden über eine linksseitige Lumbotomie mit retroperitonealer Präparation der Wirbelsäule angegangen. Im Verlauf der Darstellung und Präparation des verletzten Abschnittes wurde insbesondere auf die Beteiligung des vorderen Längsbandes geachtet. Dann wurden im Sinne einer (sub-)totalen Korporektomie die zertrümmerten Anteile des Wirbelkörpers, wenn möglich unter Belassen einer Seitenwand in situ, abgetragen. Prolabierte Fragmente der Wirbelkörperhinterkante konnten hierdurch unter Sicht aus dem Spinalkanal entfernt werden. Zur Vorbereitung des Implantatbettes wurden die angrenzenden Bandscheibenfächer ausgeräumt und die darunter liegenden Grund- und Deckplatten der benachbarten Wirbelkörper angefrischt. Daraufhin wurde nach Vermessen des Resektionsbereichs der passende Korporektomie-Cage ausgewählt und in die Defekthöhle eingebracht. Alle 75 Patienten der vorliegenden Studie erhielten einen expandierbaren Korporektomie-Cage (Fa. Ulrich, Ulm, Deutschland). Bei der Wahl des Implantats wurde besonders auf die richtige Abwinkelung der Abschlussplatten geachtet. Beim VBR bestand die Möglichkeit der Aufspreizung in situ und die Befüllung mit Spongiosa, welche aus dem zertrümmerten Wirbelkörper oder dem Beckenkamm gewonnen wurde. Weitere Spongiosareste wurden von außen an den Cage angelagert. Zuletzt folgte bei insgesamt 40 Patienten (53,3%) die zusätzliche Instru-

mentierung mit einem winkelstabilen Plattensystem. Dieses wurde in der Regel anterolateral mit so genannten Kortikalisschrauben in den kranial und kaudal des korporektomierten Segmentes gelegenen Wirbelkörpern verankert. Dabei wurde unbedingt auf die Schonung der Aorta und deren abgehenden Gefäßen sowie andere benachbarte Strukturen geachtet. Von den 40 Patienten mit einem additiven Plattensystem wurden 21 (52,5%) mit der Wirbelsäulenplatte „St. Georg“ (Fa. Waldemar Link, Hamburg, Deutschland), und 19 (47,5%) mit einer 3,5 mm LC-Platte (Fa. Synthes, Solothurn, Schweiz) instrumentiert.

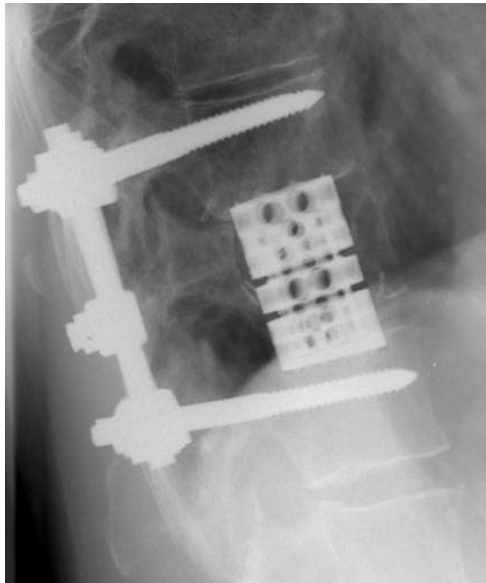


Abb.2: Dorso-ventrale Stabilisierung mit Fixateur interne und Korporektomie-Cage

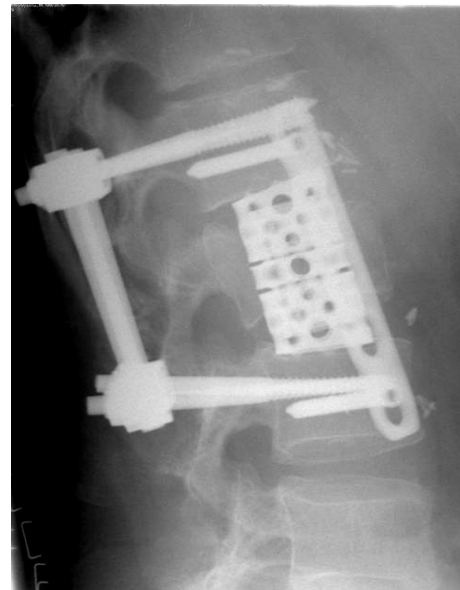


Abb.3: Dorso-ventrale Stabilisierung mit Fixateur interne Korporektomie-Cage und additiver ventraler Platte



## 2.4 Implantate

### 2.4.1 Das Universal-Spine-System zur dorsalen Stabilisierung (Fa. Synthes, Solothurn, Schweiz)



Abb.4: USS-Frakturssystem (Fa. Synthes, Solothurn, Schweiz)

Im Rahmen des dorsalen Eingriffs kam das USS-Frakturssystem (Fa. Synthes, Solothurn, Schweiz) zum Einsatz. Dieses besteht aus je zwei transpedikulär verankerten Schanz-Schrauben pro Wirbelkörper, an die die so genannten Spannzangenbacken montiert werden. Diese wiederum fassen einen der Länge der Verletzung entsprechenden Stab, welcher zwischen den Schanz-Schrauben und den Dornfortsätzen platziert wird. Durch Montierung und Fixierung dieser drei Elemente bietet das USS-Frakturssystem die unter 1.2.3 beschriebenen Möglichkeiten der Reposition, Distraction und Zuggurtung (Kostenpunkt: 3284,84 €, Stand 05/ 2008).

### 2.4.2 Der expandierbare Korporektomie-Cage VBR (Fa. Ulrich, Ulm, Deutschland)



Abb.5: VBR (Fa. Ulrich, Ulm, Deutschland)

Das aus einer Titanlegierung (DIN EN ISO 9001) gefertigte zylindrische Wirbelkörperersatzsystem VBR (vertebral body replacement) besteht aus einem gewindeförmigen Zentralelement und zwei Ansatzstücken, welche in drei Außendurchmessern (20

mm, 24 mm und 28 mm) sowie mit geraden oder gewinkelten Abschlussflächen (5° oder 8°) zur Verfügung stehen. Aufgrund der Gegenläufigkeit des Gewindes lässt sich die Höhe des Implantats individuell und stufenlos in situ aufspreizen (min. 25 mm, max. 130 mm) und den anatomischen Gegebenheiten der Defekthöhle anpassen. Dies ermöglicht den Ersatz eines oder mehrerer Wirbelkörper und die druckstabile Abstützung der vorderen Wirbelsäule. Bei Bedarf kann der Hohlkörper vor dem Einsetzen mit Kno-

chenmaterial aufgefüllt werden. Die Kosten für das Implantat belaufen sich auf ungefähr 2000,00 € (Stand 05/ 2008).

#### 2.4.3 Der Druckplattenfixateur „St. Georg“ nach Wolter (Fa. Link, Hamburg, Deutschland)



Abb.6: Druckplattenfixateur „St. Georg“ (Fa. Link, Hamburg, Deutschland)

Der Druckplattenfixateur „St Georg“ ist ein sowohl für die transpedikuläre Verankerung im Rahmen der dorsalen Stabilisierung als auch als zusätzliches zuggurtendes Plattensystem bei der Versorgung der ventralen Wirbelsäule verwendbares Implantat. Die Platten aus rostfreiem Stahl nach ISO 5832/ I für Kortikalisschrauben ( $\varnothing$  4,5 mm, Länge 50-60 mm) liegen als Ausführungen in unterschiedlichen Längen (min. 55 mm, max. 230 mm) mit einer Anzahl von zwei bis neun so genannter Schlitzlöcher vor.

Durch die Schlitzlochgeometrie hat der Operateur die Möglichkeit, während des Einbringens der Schrauben die Platte um die Länge eines Schlitzloches zu verschieben. Die Ränder der Schlitzlöcher weisen wellenförmige Einkerbungen für einen guten Sitz der Schrauben auf. Der Kostenpunkt für den Druckplattenfixateur liegt je nach Länge des Implantats zwischen 178,00 € und 269,00 € (Stand: 05/ 2008).

#### 2.4.4 Die 3,5 mm LC-Platte (Fa. Synthes, Solothurn, Schweiz)

LCP („Locking compression plate“) steht für eine Vielzahl verschiedener für die osteosynthetische Versorgung von Frakturen entwickelter Plattentypen, deren gemeinsames Merkmal die Möglichkeit der gesonderten oder kombinierten Anwendung des Implantats in Kompressionstechnik und/oder nach dem Fixateur-interne-Prinzip darstellt. Das speziell geformte LCP-Kombinationsloch der Platten erlaubt die Verwendung herkömmlicher Spongiosa- oder Kortikalisschrauben als auch die der so genannten Kopfverriegelungsschrauben, wodurch sich die Vorteile beider Osteosyntheseprinzipien kombinieren lassen. Es sind sowohl die Reposition der Fraktur über die Platte, die interfragmentäre Kompression mittels Zugschraubenanwendung als auch die winkel- und achsenstabile Fixierung der Fraktur ohne primären oder sekundären Repositionsverlust gewährleistet [99, 100, 101]

Im Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie der Charité (Berlin) wurde zur Erhöhung der Primärstabilität bei der Rekonstruktion der vorderen Wirbelsäule eine Platte in gerader



Abb.7: LC-Platte in verschiedenen Ausführungen (Fa. Synthes, Solothurn, Schweiz)

Ausführung (Länge 59-85 mm, Stärke 3,5 mm, Kostenpunkt: 29,95-31,85 € je nach Länge des Implantats, Stand: 05/ 2008) aus Titan verwendet.

## 2.5 Radiologische Auswertung

Alle präoperativen, direkt postoperativen und im Laufe der Nachuntersuchungen gewonnenen Röntgenaufnahmen und Computertomographien wurden zusammengetragen. Anhand der präoperativen Aufnahmen konnte jede Verletzung retrospektiv durch zwei unabhängige Auswerter anhand der AO-Klassifikation nach Magerl [9] klassifiziert werden. Die Nachuntersuchungen sahen im Abstand von drei, sechs, zwölf und 24 Monaten an die Operation konventionelle Röntgenaufnahmen des betroffenen Wirbelsäulenabschnittes in zwei Ebenen, funktionelle seitliche Aufnahmen in Inklination und Reklination (Gerätehersteller: General Electrics, Gerätetyp: Advix), sowie computertomographische Aufnahmen des betroffenen Wirbelsäulenabschnitts mit zweidimensionaler Rekonstruktion vor (Gerätehersteller: General Electrics, Gerätetyp Light Speed mit 8/16-Zeilen, Schichtdicke: 2,5 mm, Rekonstruktionen: 1,5 mm). Die Auswertung der funktionellen Aufnahmen floss nicht in die vorliegende Untersuchung ein. Patienten, bei denen die letzte Nachuntersuchung noch ausstand, wurden angeschrieben, bzw. über das Einwohnermeldeamt ermittelt und eingeladen, diese nachzuholen.

### 2.5.1 Auswertung der konventionellen Röntgenaufnahmen

Es wurden sowohl herkömmliche Abzüge der Röntgenfilme als auch digitalisierte Bilder aus dem Computerarchiv ausgewertet, letztere mit Hilfe des Software-Programmes Osiris®. Folgende Winkel und Maße dienten dabei der Vermessung der verletzungsbedingten Fehlstellungen, der operativen Korrektur der Fehlstellungen, dem Korrekturverlust und des Migrationsverhaltens der Korporektomie-Cages (im Folgenden als Cage-Sinterung bezeichnet).

In der seitlichen Projektion:

- Der Grund-Deckplatten-Winkel  $\alpha$  (nach Cobb) [2] zwischen den Grund- und

Deckplatten der benachbarten Wirbelkörper als Maß der kyphotischen Fehlstellung jeweils für mono- bzw. bisegmentale Verletzungen (Abb.8)

- Die Kippung der Hinterkante des Korporektomie-Cages im Bezug auf die Stellung der darunter liegenden intakten Grundplatte
- Das Verhältnis zwischen den Abständen der Wirbelkörpermitten der angrenzenden intakten Grund- und Deckplatten zu der Länge der Hinterkante des Korporektomie-Cages in situ als dimensionslose Maß zur Dokumentation der Cage-Sinterung (Abb.9)



Abb.8: Grund-Deckplatten-Winkel (nach Cobb) zur Vermessung der prä-operativen kyphotischen Fehlstellung

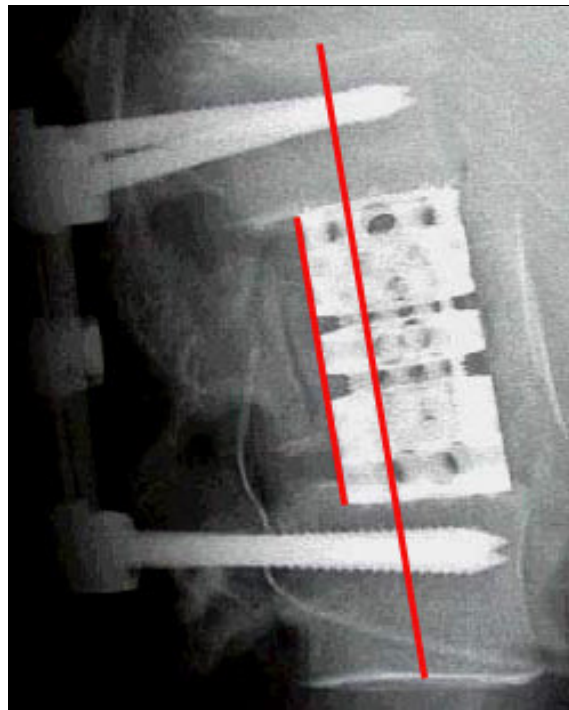


Abb.9: Bestimmung des Verhältnisses des Abstandes der angrenzenden Wirbelkörpermitten zur Länge der Cage-Hinterkante

In der a.-p. Projektion:

- Der Skoliosewinkel nach Cobb [2] für mono- bzw. bisegmentale Verletzungen
- Die Kippung der Seitenkante des Korporektomie-Cages im Bezug auf die darunter liegende intakte Grundplatte



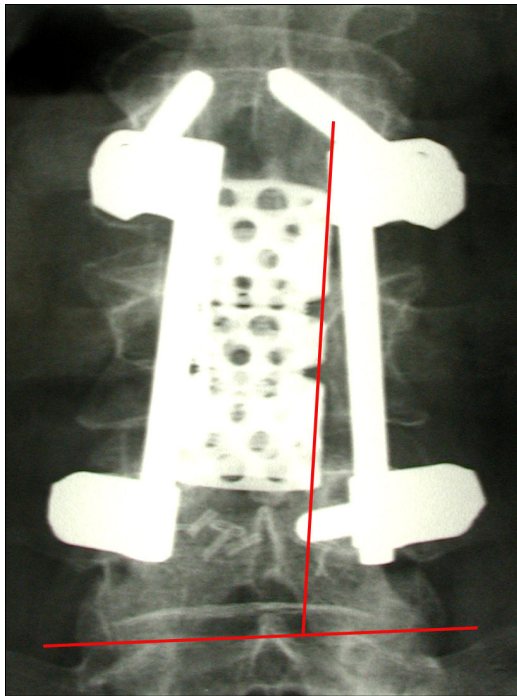


Abb.10: seitliche Kippung des Cages

Basierend auf Literaturangaben und Erfahrungen aus vorangegangenen Studien der Arbeitsgruppe Wirbelsäulenchirurgie im Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie der Charité (Berlin) wurde der inter- und intraindividuelle Messfehler auf  $\leq 3^\circ$  festgelegt [36, 51].

### 2.5.2 Auswertung der CT-Aufnahmen

Präoperative Computertomographien dienten der exakten Klassifikation nach Magerl [9]. Anhand der Aufnahmen, die im Rahmen der Nachsorgeuntersuchungen zwölf und 24 Monate postoperativ entstanden, konnte die knöcherne Fusionierung der verletzten Wirbelsäulenabschnitte sowie die Integrität und das Einheilen der verwendeten Implantate beurteilt werden.

Zur Beurteilung der knöchernen Fusion wurden jeweils in drei Ebenen Schichtbilder gewählt, auf denen sich die Mitte des Korporektomie-Cages sowie die beiden Abschlussplatten am Übergang zu den angrenzenden intakten Wirbelkörpern darstellten (Abb.11). In diesen Ebenen wurden an drei definierten Stellen (dem Inneren des Cages, an dessen Außenseite und bei zusätzlicher ventraler Instrumentierung direkt unterhalb des Plattensystems) die Schichtbilder auf das Vorhandensein von knöchernen Strukturen, Lysezeichen und Resorptionszonen hin untersucht.

Als Kriterien der knöchernen Fusion wurden definiert:

- eine knöcherne Durchbauung im Inneren des Cages
- die Ausbildung einer knöchernen Spange entlang des stabilisierten Segmentes
- das Fehlen von Lyseherden und Resorptionszonen

Hieraus leitete sich die Differenzierung der drei im Folgenden aufgeführten knöchernen Fusionsgrade ab. Bei zusätzlicher ventraler Instrumentierung wurde dokumentiert, ob sich eine knöcherne Spange direkt unterhalb bzw. entlang des Plattensystems ausgebildet hatte oder ob diese ohne Kontakt zur Platte stand.

Grad 1	komplette Fusion	<ul style="list-style-type: none"> <li>• komplette Durchbauung</li> <li>• durchgehende Spange</li> <li>• keine Resorptionszonen</li> </ul>
Grad 2	inkomplette Fusion	<ul style="list-style-type: none"> <li>• komplette Durchbauung</li> <li>• keine durchgehende Spange</li> <li>• keine Resorptionszonen</li> </ul>
Grad 3	wahrscheinlich keine Fusion	<ul style="list-style-type: none"> <li>• keine komplette Durchbauung</li> <li>• keine durchgehende Spange</li> <li>• Resorptionszonen</li> </ul>

Tab.1: Beurteilung der knöchernen Fusion

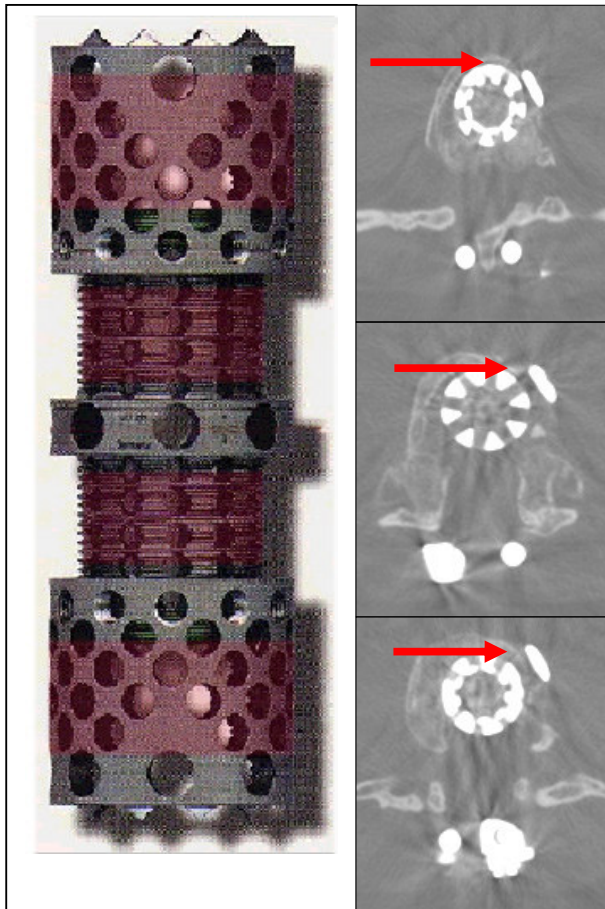


Abb.11: Beurteilung der knöchernen Fusion im CT auf drei definierten Schnittebenen

## 2.6 Klinische Nachuntersuchung

### 2.6.1 Neurologischer Verlauf

Der Dokumentation des neurologischen Verlaufs dienten Angaben aus dem Übergabeprotokoll des einweisenden Notarztes, Untersuchungsergebnisse, die in der traumatischen Rettungsstelle der Charité, Campus Virchow-Klinikum (Berlin) erhoben wurden, sowie die Ergebnisse der klinischen Nachuntersuchungen. Die Einteilung erfolgte nach ASIA/ Frankel [97, 98].

A	Keine motorische oder sensible Funktion		
B	Sensibilität erhalten, keine motorische Funktion		
C	Unbeweglich im Rollstuhl, etwas motorische Funktion		
	1	Blasen-/ Mastdarmlähmung	
	2	Stuhl-/ Harninkontinenz	
	3	Willkürliche normale Blasen-/ Darmfunktion	
D	Gehfähig, aber mit neurologischem Defizit		
	1	Rollator notwendig	
	2	Unterarmgehstützen notwendig	
	3	Selbstständiges Gehen	
		a	Blasen-/ Mastdarmlähmung
		b	Stuhl-/ Harninkontinenz
		c	Willkürliche normale Blasen-/ Darmfunktion, aber sensible Symptome
E	Normale sensible und motorische Funktion		

Tab.2: Einteilung des sensomotorischen Defizits bei Patienten mit traumatischen Rückenmarksverletzungen nach ASIA/ Frankel

### 2.6.2 Objektive Befundung der Wirbelsäulenbeweglichkeit

Zur objektiven Bestimmung der Wirbelsäulenbeweglichkeit wurden im Rahmen der Nachuntersuchung bei allen Patienten folgende Maße bestimmt:

- Ott-Maß (nach Neutral-0-Methode) [2]
- Schober-Maß (nach Neutral-0-Methode) [2]
- Finger-Boden-Abstand (cm) [2]
- Seitneigung im Sitzen (nach Neutral-0-Methode) [2]
- Drehen im Sitzen (nach Neutral-0-Methode) [2]

### 2.6.3 Schmerzintensität und Schmerzentwicklung

Die Patienten wurden während der Nachuntersuchung gebeten, Angaben über die Schmerzintensität in Rücken, Gesäß und Beinen zu machen und hierfür jeweils eine visuelle Analogskala (VAS) mit Werten von 0 bis 100 zu verwenden.

Weiterhin wurden die Patienten nach dem Auftreten von Ruhe- und/ oder Belastungsschmerzen befragt. Folgende nominal skalierte Antwortmöglichkeiten wurden vorgegeben:

- ständig



- häufig
- gelegentlich
- nie

Auch die Schmerzentwicklung im Vergleich zur Voruntersuchung wurde dokumentiert. Hierbei standen als Antwortmöglichkeiten zur Verfügung:

- schlechter
- unverändert
- besser
- schmerzfrei

#### *2.6.4 Subjektive Einschätzung der Lebensqualität*

Zu den Nachuntersuchungen wurden den Patienten zwei weitere Fragebögen ausgehändigt. Es handelte sich hierbei einmal um den so genannten in den Vereinigten Staaten entwickelten und für die internationale Anwendung durch das International Quality of Life Assessment (IQOLA) [203] adaptierten MOS Short Form-36-Fragebogens (Medical Outcomes Studies/ Short Form 36) zur Selbsteinschätzung der Lebensqualität des Patienten und zum anderen um den Oswestry-Punkte-Score [204], mit dem sich ebenfalls unter besonderer Berücksichtigung der Schmerzen eine Momentaufnahme der Lebensqualität des Patienten erstellen läßt. Die Auswertung dieser Daten floss nicht in die vorliegende Untersuchung ein.

### **2.7 Statistische Auswertung**

Für die statistische Analyse wurden die Software-Programme „SPSS 14.0“ (SPSS Inc. Chicago, Illinois, USA) sowie Microsoft® Excel 2002 (Microsoft Inc, Redwood, Washington, USA) angewendet. Die deskriptive Statistik umfasste die Berechnung von Mittelwert, Minimum/ Maximum und der Standardabweichung der erhobenen Parameter. Die Überprüfung der Variablen auf Normalverteilung erfolgte per Kolmogorov-Smirnov-Test. Für den Vergleich von gepaarten Stichproben ordinalskaliertter Größen wurde der Wilcoxon-Test und für unabhängige Stichproben der Mann-Whitney-Test verwendet. Statistische Zusammenhänge wurden über den Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman und bei Binomialverteilung mit dem  $\chi^2$ -Test berechnet. Statistische Zusammenhänge intervallskaliertter, normalverteilter Größen ließen sich anhand des Korrelationskoeffizienten nach Pearson ermitteln.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Patientendaten

Von 66 der 75 in die Studie aufgenommenen Patienten lagen zum Ende des Erfassungszeitraumes repräsentative Nachuntersuchungsergebnisse vor. Dies entspricht einer Nachuntersuchungsrate von 88%. Unter den neun aus der Studie ausgeschiedenen Patienten befand sich eine Patientin in stationärer psychiatrischer Behandlung, ein Patient lehnte eine Nachuntersuchung ab und sieben Patienten konnten trotz Anfragen beim Berliner Einwohnermeldeamt nicht kontaktiert werden. Der durchschnittliche Nachuntersuchungszeitraum lag bei 32 Monaten (22-72).

44 der 66 nachuntersuchten Patienten waren männlich (66,6%) und 22 weiblich (33,3%). Das Durchschnittsalter lag zum Zeitpunkt des Unfalls bei 41,0 Jahren (17-76). Das Kollektiv der zu Studienbeginn erfassten Patienten und das Nachuntersuchungskollektiv unterschieden sich hinsichtlich der Frakturklassifikationen und der operativen Versorgung nicht voneinander.

Häufigste Verletzungsursache war in 36 Fällen (54,5%) ein Sturz, bzw. Sprung aus großer Höhe, an zweiter Stelle stand in zwölf Fällen (18,2 %) ein Verkehrsunfall, in sechs Fällen (9,1%) ein Treppensturz und in sieben Fällen (10,6%) wurden andere Ursachen angegeben. In fünf Fällen (7,5%) wurde die Unfallursache nicht dokumentiert (Abb.12).

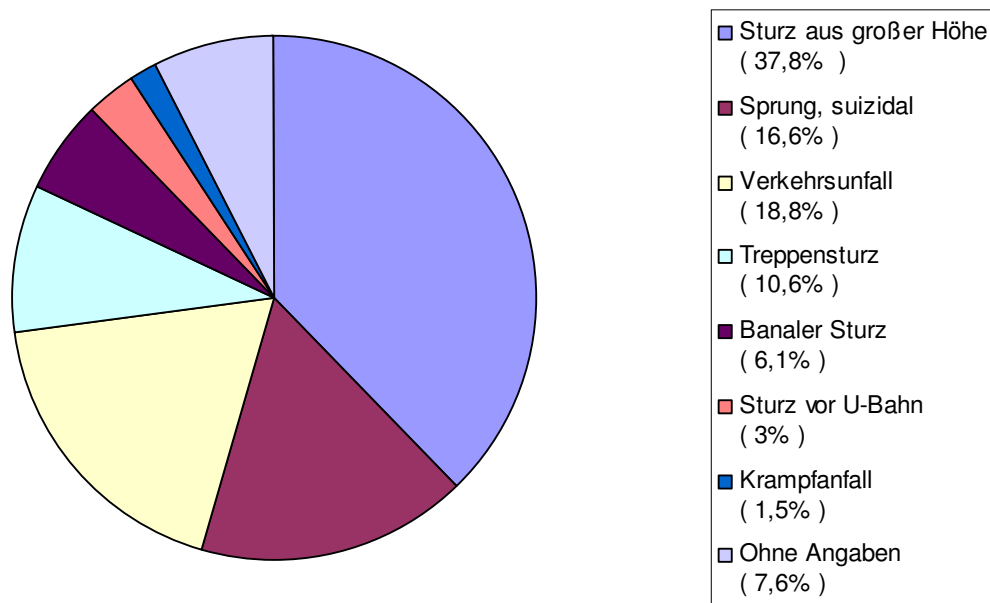


Abb.12: Häufigkeiten der verschiedenen Unfallursachen

65,1% (n = 43) der Verletzungen betrafen die Lenden- und 34,9% (n = 23) die Brustwirbelsäule. 56 Patienten (84,8%) erlitten eine monosegmentale, sieben Patienten (10,6%) eine bisegmentale und drei Patienten (4,6%) eine Mehretagenverletzung, bei denen in zwei Fällen drei Wirbelkörper und in einem Fall vier Wirbelkörper verletzt waren. Am häufigsten betroffen waren der zwölfte Brust- (n = 15) sowie der erste (n = 14) und zweite (n = 14) Lendenwirbelkörper. Die exakte Häufigkeitsverteilung der Verletzungen auf die jeweiligen Wirbelkörper zeigt die Abbildung 13. Ein Patient mit einer schweren Mehretagenverletzung im Bereich der Lendenwirbelsäule erhielt zwei Wirbelkörperersatzsysteme mit additiver Plattenapplikation, die im Folgenden getrennt aufgeführt werden.

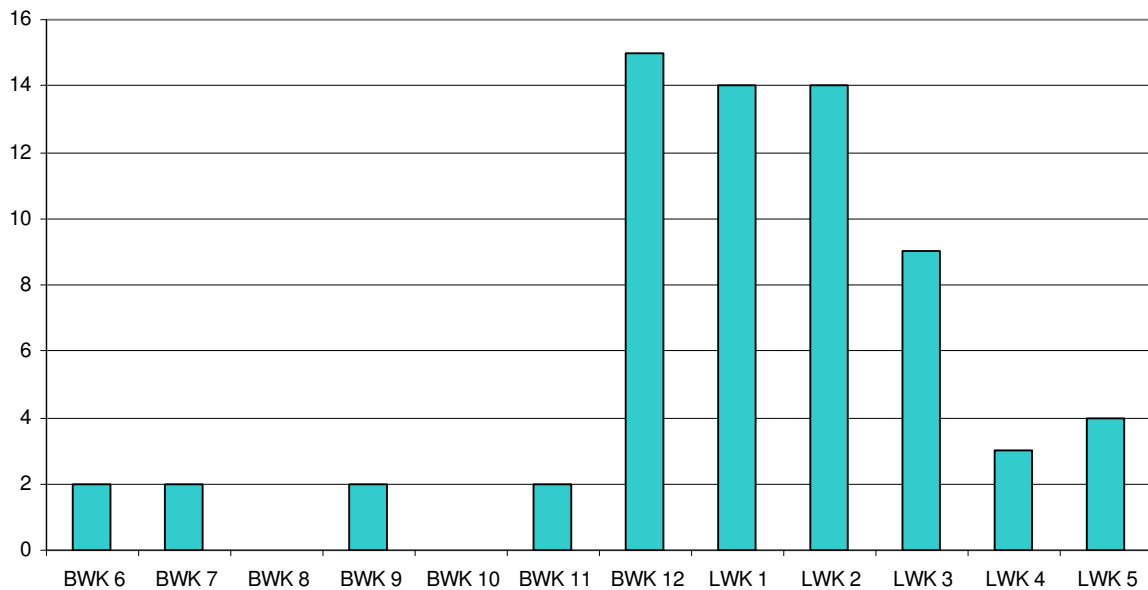


Abb.13: Verteilung der verletzten Wirbelkörper

Klassifiziert wurden jeweils die am schwersten verletzten und korporektomierten Wirbelkörper (Abb.14). Es handelte sich dabei um 27 A-Verletzungen (40,3%), 25 B-Verletzungen (37,3%) und 15 C-Verletzungen (22,4%).

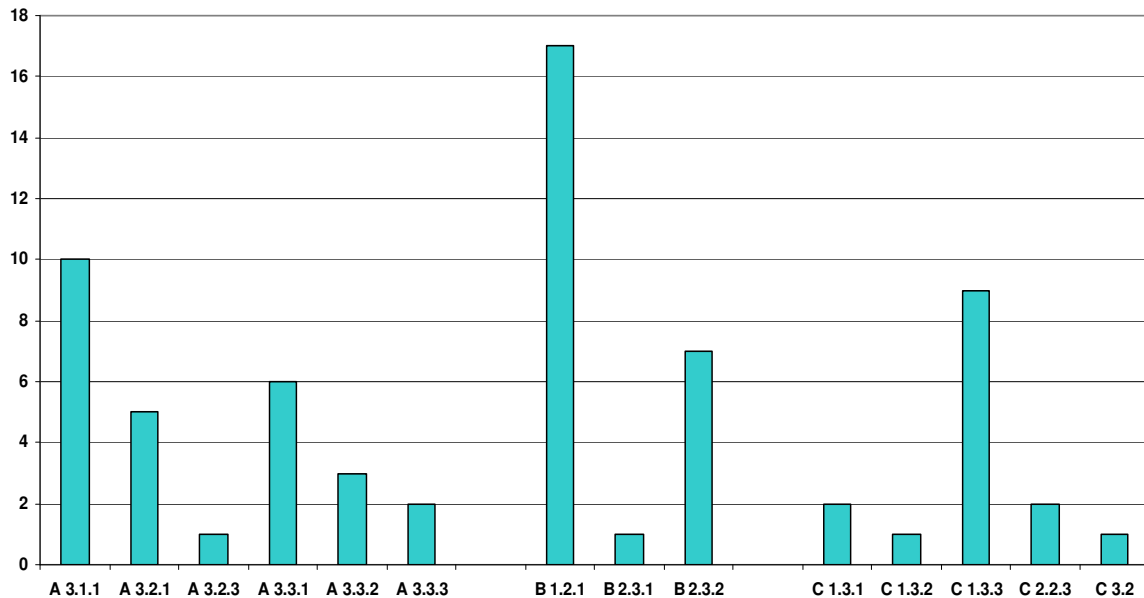


Abb.14: Häufigkeiten der verschiedenen Verletzungstypen (n = 67)

Bei 30 Patienten (45,5%) wurden behandlungsbedürftige Begleitverletzungen dokumentiert. Dies waren zumeist Frakturen der unteren Extremitäten (n = 20) oder Rippen-(serien)frakturen (n = 11). In acht Fällen wurde ein Schädel-Hirn-Trauma und in sieben Fällen ein stumpfes Bauchtrauma diagnostiziert. Jeweils vier Patienten erlitten Verletzungen der oberen Extremitäten bzw. ausgedehnte Weichteilverletzungen. Patienten mit C-Verletzungen erlitten mit 84,6% signifikant häufiger zusätzliche Begleitverletzungen als Patienten mit A- oder B-Verletzungen (38%;  $p < 0,05$ ). Auch lag in der Gruppe der C-Verletzungen der Anteil der Patienten mit neurologischen Ausfällen (ASIA/ Frankel A-D) mit 76,9% signifikant höher als bei den Patienten mit A- und B- Verletzungen (17%,  $p < 0,005$ ).

Insgesamt lag von 61 Patienten der neurologische Aufnahmebefund vor: 12 Patienten (19,7%) wiesen zum Zeitpunkt der Aufnahme eine komplette (ASIA/ Frankel A) und 7 Patienten (11,4%) eine inkomplette Querschnittslähmung (ASIA/ Frankel B-D) auf. 42 Patienten (68,8%) zeigten keine neurologischen Ausfälle (ASIA/ Frankel E). Von 58 dieser Patienten liegt der komplette neurologische Verlauf bis zur letzten Nachuntersuchung vor. Die ASIA/ Frankel-Verteilung dieser Patienten ergab zum Aufnahmezeitpunkt neun komplette (15,5%) und sieben (12%) inkomplette Querschnittslähmungen sowie 42 mal (72,5%) kein neurologisches Defizit.

### 3.2 Operative Daten

Bei 11 Patienten erfolgte die Primärversorgung in einem auswärtigen Krankenhaus, bevor sie in unsere Einrichtung verlegt wurden. Der durchschnittliche zeitliche Abstand zwischen Unfallereignis und operativer Stabilisierung betrug 3,2 Tage (0-27). Alle 66 Patienten erhielten aufgrund ihrer thorakolumbalen Wirbelsäulenverletzungen das von ventral eingebrachte expandierbare Wirbelkörperersatzsystem VBR (Ulrich, Ulm, Deutschland). Hierbei wurden durchschnittlich 1,9 (1-2) Bewegungssegmente überbrückt. In allen Fällen wurde autologer spongiöser Knochen des destruierten Wirbelkörpers zum Auffüllen des Implantats verwendet und die restliche Spongiosa an das Implantat angelagert. Bei 8 Patienten (12,1%) wurden aufgrund großer Substanzdefekte zusätzliche kortikospongiöse Späne aus dem Beckenkamm entnommen. 64 Patienten (97%) wurden im Rahmen eines zweizeitigen Vorgehens von dorsal mit einem Fixateur interne versorgt. Der durchschnittliche zeitliche Abstand zwischen Unfallzeitpunkt und dorsaler Stabilisierung lag bei 2,8 Tagen (0-27, Stabw. 5,4). Vier Patienten mit einer verzögerten operativen Versorgung von zehn Tagen oder mehr wurden primär auswärts versorgt, bevor sie an das Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie überwiesen wurden. Im Rahmen der dorsalen Instrumentierung kam ausschließlich das winkelstabile Universal Spine System (Fa. Synthes, Solothurn, Schweiz) zur Anwendung, mit dem im Durchschnitt 2,3 Segmente (1-5) überbrückt wurden. Zusätzlich wurde bei 42 Patienten (63,6%) eine Laminektomie zur Dekompression des Spinalkanals durchgeführt. Zwischen dem Zeitpunkt des Unfalls und der ventralen Dekompression vergingen durchschnittlich 14 Tage (5-32, Stabw. 6,5). Zwei Patienten (3%) wurden ausschließlich von ventral operiert. 36 Patienten (53,3%) erhielten zusätzlich zu den Wirbelkörperersatzsystemen ein additives ventrales Plattensystem (19 mal Wolter-Plattensystem, Link, Hamburg, Deutschland und 17 mal LCP, Synthes, Solothurn, Schweiz). Diese Patienten werden im Folgenden auch unter dem Begriff ‚Gruppe 1‘ zusammengefasst, während unter den Begriff ‚Gruppe 2‘ alle Patienten ohne zusätzliche Platte fallen.

Die durchschnittliche Gesamtoperationszeit (dorsaler und ventraler Eingriff) lag bei 3,72 Stunden (Stabw.: 6,48, Minimum: 2, Maximum: 10).

Bei einem der insgesamt zehn verantwortlichen Operateure ließ sich ein Trend hin zur Anwendung eines additiven Plattensystems erkennen. In fünf der sechs von diesem Operateur durchgeführten Eingriffen (3 mal A.3-Verletzungen und 2 mal B.1-Verletzungen) wurden die Patienten mit einer zusätzlichen ventralen Platte versorgt. Ein weiterer Operateur wies einen Trend hin zur Versorgung ohne ein additives Plattensystem

auf. Sieben von neun Patienten (4 mal A.3-, 1 mal B.1-, 1 mal B.2- und 1 mal C.1-Verletzungen) erhielten keine Platte. Die anderen Operateure wiesen keine Favorisierung eines bestimmten Verfahrens auf.

In drei Fällen (4,5%) musste ein auswärts angelegter Fixateur interne aufgrund dislozierter Pedikelschrauben entfernt und zur Restabilisierung neu implantiert werden. Bei drei weiteren Patienten konnte nach jeweils einem Jahr die Indikation zur Implantatentfernung des Fixateurs interne bei gutem ventralem Fusionsergebnis gestellt werden (einmal wegen eines chronisch rezidivierenden Seroms, zweimal aufgrund von Implantatlockerungen ohne nähere Angaben).

### *3.2.1 Vergleich der epidemiologischen, klinischen und operativen Daten der Gruppe mit additiver Plattenapplikation (Gruppe 1) mit denen der Gruppe ohne additiver Plattenapplikation (Gruppe 2)*

Hinsichtlich der Alters- und Geschlechtsverteilung der Patienten bestand zwischen der Gruppe 1 und der Gruppe 2 eine weitgehende Übereinstimmung der Datenverteilung. Der Anteil der A-Verletzungen unterschied sich in der Gruppe 1 mit 40,5% (n = 15) kaum von dem in der Gruppe 2 mit 40% (n = 12). B-Verletzungen kamen in der Gruppe 1 12 mal (35,1%) und in der Gruppe 2 13 mal (43,3%) vor, während der Anteil der C-Verletzungen in der Gruppe 1 bei 23% (n = 10) und in der Gruppe 2 bei 16,7% (n = 5) lag. Patienten mit Begleitverletzungen machten in der Gruppe 1 51,4% (n = 18) und in der Gruppe 2 40,7% (n = 11) aus. Der Anteil der Patienten mit einer vollständigen neurologischen Verlaufsbefundung und einem präoperativen neurologischen Defizit (ASIA/Frankel A-D) lag in der Gruppe 1 bei 22,4% (n = 7) und in der Gruppe 2 bei 32,9% (n = 9). Ein intakter neurologischer Aufnahmebefund fand sich in der Gruppe 1 24 mal (77,4%) und in der Gruppe 2 18 mal (66,7%). Signifikante Unterschiede zwischen der Gruppe 1 und der Gruppe 2 hinsichtlich der wichtigsten Merkmale, die den postoperativen Verlauf beeinflussen, bestanden nicht.

Eine annähernde Übereinstimmung der Daten ergab sich auch bei den perioperativen Daten zu Operationszeit, Dauer der postoperativen Überwachung auf der Intensivstation und der Gesamthospitalisierung vor.

	Gruppe mit additiver Platte (n = 30)	Gruppe ohne additive Platte (n = 30)
Durchschnittsalter	40,3 (n = 36)	41,5 (n = 30)
A-Verletzung	40,6% (n = 15)	40% (n = 12)

B-Verletzung	32,4% (n = 12)	43,3% (n = 13)
C-Verletzung	27% (n = 10)	16,7% (n = 5)
Monotrauma	48,6% (n = 17)	59,3% (n = 16)
Begleitverletzungen	51,4% (n = 18)	40,7% (n = 11)
Neurologie (bei stationärer Aufnahme)	Frankel A: 12,8% (n = 4) Frankel B: 0% (n = 0) Frankel C: 3,2% (n = 1) Frankel D: 6,4% (n = 2) Frankel E: 77,4% (n = 24)	Frankel A: 18,5% (n = 5) Frankel B: 0% (n = 0) Frankel C: 7,4% (n = 2) Frankel D: 7,4% (n = 2) Frankel E: 66,7% (n = 18)
Operationszeit (min)	228 (90-420)	216 (120-600)
Intensivüberwachung (d)	4,75 (0-26)	3,25 (1-11)
Gesamthospitalisation(d)	31,67 (17-68)	31,23 (13-59)

Tab.3: Vergleich einiger bedeutsamer operativer und perioperativer Merkmale der Gruppe 1 (mit additiver Platte) und der Gruppe 2 (ohne additive Platte)

### 3.3 Radiologische Ergebnisse

#### 3.3.1 Röntgenologische Messdaten des Gesamtkollektivs

Das präoperative Ausmaß der segmentalen Wirbelsäulendeformierung wurde in der seitlichen Ansicht der konventionellen Röntgenbilder anhand des Grund-Deckplatten-Winkels (GDW) bestimmt. Es lagen zum Ende der Studie die präoperativen Röntgenaufnahmen von 66 Patienten vor. Bei allen Verletzungen handelte es sich um Deformierungen der betroffenen Wirbelsäulenabschnitte im Sinne einer Kyphosierung. Der durchschnittliche GDW betrug 13,4° (1-41°). In 66 Fällen wurde durch den operativen Eingriff eine signifikante lordosierende Aufrichtung des verletzten Bewegungssegmentes erreicht ( $p < 0,001$ ). Im Durchschnitt bemaß die Korrektur des GDW 11,2° (1-28°). Während der ersten zwölf Monate kam es zu einer signifikanten Kyphosierung von 2,0° (0-9°) und in den folgenden 20 Monaten von weiteren 0,6° (0-3°), was einem Gesamtkorrekturverlust von 2,6° nach 32 Monaten entspricht ( $p < 0,001$ ) (Abb.14). Im Bezug auf den präoperativen Ausgangswert des GDW bestand nach 32 Monaten ein durchschnittlicher Gewinn von 8,6° (0-26°). Auch der größere Teil der Cage-Sinterung fand während der ersten zwölf Monate nach der operativen Versorgung statt. Zur ersten Nachuntersuchung lag die mittlere Sinterung bei 6,4 und in den folgenden 20 Monaten bei 2,4. Die Sinterung im Bereich der Brustwirbelsäule lag nach 32 Monaten bei 9,2 gegenüber 8,6 in der Lendenwirbelsäule. Es bestand eine signifikante Korrelation zwi-

schen der Cage-Sinterung und dem Korrekturverlust ( $p < 0,05$ ). Zur weiteren Beschreibung der Implantatlage des Cages wurde in der seitlichen Ansicht die Cage-Kippung bezogen auf die Stellung der Grundplatte des distalen benachbarten Wirbelkörpers vermessen. Nach 32 Monaten lag diese bei  $3,1^\circ$  ( $0-6^\circ$ ) ( $p < 0,001$ ). Der im antero-posterioren Strahlengang anhand des Cobb-Winkels bestimmte Korrekturverlust lag nach zwölf Monaten bei  $1,1^\circ$  und weiteren 24 Monaten bei  $0,6^\circ$  ( $p < 0,001$ ). Der Anteil der Patienten mit einer skoliotischen Fehlstellung von  $\geq 5^\circ$  lag bei 3,1% ( $n = 2$ ). Die Kippung des Cages in der Frontalebene wurde im Verlauf der Nachuntersuchungen mit durchschnittlich  $1,4^\circ$  und  $0,6^\circ$  vermessen ( $p < 0,001$ ).

Bei insgesamt zwei Patienten wurde während des postoperativen Verlaufs eine mäßige und bei einem Patienten eine ausgeprägte Osteoporose dokumentiert. Zwei dieser Patienten, die im Rahmen der kombinierten Versorgung keine zusätzliche Platte erhielten, zeigten im Vergleich zum Gesamtkollektiv für den Korrekturverlust ( $4^\circ$  und  $5^\circ$ ) und die Sinterung (12 und 19) deutlich höhere Werte. Der dritte Patient mit einer zusätzlichen Platte und einer mäßigen Osteoporose hingegen lag mit beiden Werten unter dem Gesamtdurchschnitt ( $0^\circ$  und  $1^\circ$ ). Ein statistischer Zusammenhang zwischen dem Auftreten einer Osteoporose und den radiologischen Verlaufsergebnissen bzw. dem Einfluss einer zusätzlichen ventralen Platte auf den Heilungsverlauf osteoporotischer Wirbelkörper ließ sich aufgrund der niedrigen Fallzahl der dokumentierten Osteoporose in der vorliegenden Untersuchung nicht nachweisen.

### *3.3.2 Röntgenologische Messdaten in den Gruppen mit und ohne Platte*

Der Vergleich des radiologischen Verlaufs zwischen der Gruppe mit einer additiven Plattenapplikation (Gruppe 1) und der Gruppe ohne eine additive Plattenapplikation (Gruppe 2) zeigte keine signifikanten Unterschiede. Der präoperative GDW in der Gruppe 1 betrug  $14,2^\circ$  gegenüber  $12,4^\circ$  in der Gruppe 2. Die mittlere operative Korrektur lag bei  $11,4^\circ$  (Gruppe 1) gegenüber  $10,8^\circ$  (Gruppe 2) und der mittlere Korrekturverlust nach 32 Monaten bei  $2,3^\circ$  (Gruppe 1) gegenüber  $3^\circ$  (Gruppe 2) (Abb.15). Dem Gewinn der Gruppe 1 von  $9,1^\circ$  standen  $8,4^\circ$  in der Gruppe 2 gegenüber. Die Cage-Sinterung nach 32 Monaten lag in der Gruppe 1 mit  $8,6$  etwas niedriger als in der Gruppe 2 mit  $9$ . Auch die in den antero-posterioren Aufnahmen bestimmte Zunahme des Cobb-Winkels ( $1,7^\circ$  in der Gruppe 1 und  $1,6^\circ$  in der Gruppe 2) sowie die Kippung des Cages in der Frontalebene ( $2,0^\circ$  in der Gruppe 1 und  $1,9^\circ$  in der Gruppe 2) unterschieden sich nicht signifikant voneinander (Tab.4).



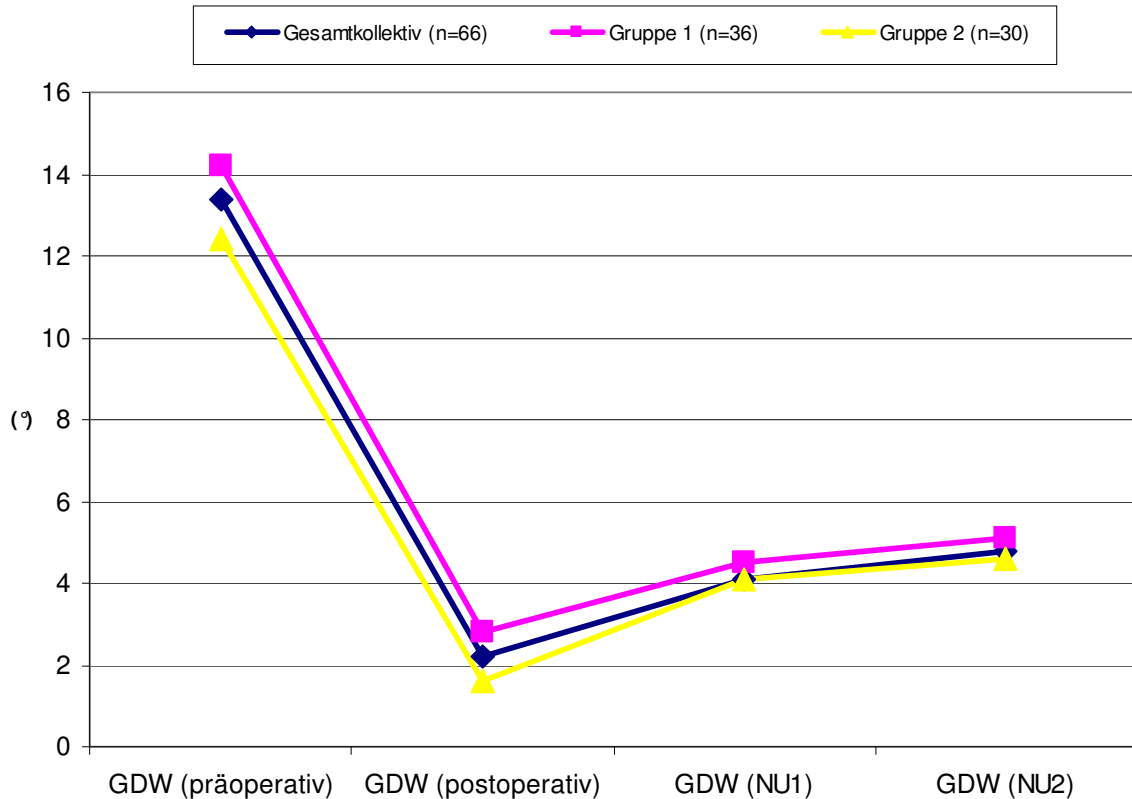


Abb.15: Radiologischer Verlauf von Gesamtkollektiv, Gruppe 1 und Gruppe 2: Grund-Deckplatten-Winkel zu den verschiedenen Nachuntersuchungszeitpunkten (NU)

	Gesamtkollektiv (n = 67)	Gruppe 1 (n = 37)	Gruppe 2 (n = 30)
GDW (präoperativ) (°)	13,4 (11/ 12,2)	14,2 (12/ 10)	12,4 (11/ 9,3)
Korrektur (p.o.) (°)	11,2 (10/ 7,4)	11,4 (9,5/ 7,3)	10,8 (10/ 7,5)
Verlust (NU 2) (°)	2,6 (2,5/ 2)	2,3 (2/ 1,7)	3 (3/ 2,4)
Gewinn (NU 2) (°)	8,6 (8/ 7,8)	9,1 (7,5/ 7,9)	8,4 (8/ 7,6)
Sinterung (NU 2) (°)	8,8 (7/ 7,4)	8,6 (7/ 7,2)	9 (6/ 7,5)
Kippung 1 (NU 2) (°)	3,2 (3/ 2,2)	2,8 (2/ 2)	3,7 (3/ 2,4)
Cobb (NU 2) (°)	1,7 (1,4/ 1)	1,7 (1/ 1,4)	1,6 (1/ 1,2)
Kippung 2 (NU2) (°)	2 (3/ 1,6)	2 (1/ 1,9)	1,9 (2/ 1,3)

Tab.4: Gruppe 1 und Gruppe 2 zu den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten (präoperativ, postoperativ und Nachuntersuchung 2 (NU2)): Grund-Deckplatten-Winkel (GDW), Korrektur, Korrekturverlust, Gewinn, Cage-Kippung in sagittaler Ebene (Kippung 1), Cobb-Winkel und Cage-Kippung in frontaler Ebene (Kippung 2) in Winkelgrad, Sinterung als dimensionsloser Quotient, Mittelwert (Median/ ± Standardabweichung)

### 3.3.3 Röntgenologische Messdaten in den Untergruppen der A-, B- und C-Verletzungen

Insgesamt zeigte sich ein sehr ähnlicher radiologischer Verlauf beim Vergleich der mit bzw. ohne zusätzliche Platte versorgten Patienten in der Untergruppe der A-Verletzungen (Tab.5). Aufgrund einer geringeren operativen Korrektur in der Gruppe ohne Platte fiel auch der Gewinn niedriger aus als in der Gruppe mit Platte. Diese Unterschiede waren jedoch ebenso wenig signifikant wie die der anderen erhobenen Daten.

	A-Verletzungen mit Platte (n = 15)	A-Verletzungen ohne Platte (n = 12)
GDW (präoperativ) (°)	12 (11/ 6,6)	11 (9/ 9,6)
Korrektur (p.o.) (°)	12,8 (12/ 7,2)	7,8 (5/ 6,1)
Verlust (NU 2) (°)	2 (2/ 1,6)	2,3 (2,5/ 1,5)
Gewinn (NU 2) (°)	10,7 (11/ 7,9)	5,4 (3/ 6,1)
Sinterung (NU 2) (°)	9,7 (7/ 8,4)	8,3 (4,5/ 7,9)
Kippung 1 (NU 2) (°)	2,6 (3/ 1,7)	3,9 (3/ 2,2)
Cobb (NU 2) (°)	1,6 (1,5/ 1,4)	2 (2/ 1,1)
Kippung 2 (NU 2) (°)	2,8 (2/ 2,3)	2,1 (2/ 0,5)

Tab.5: Deskriptive Statistik der radiologischen Messungen Untergruppen A-Verletzungen mit Platte und A-Verletzungen ohne Platte zu den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten (präoperativ, postoperativ und Nachuntersuchung 2 (NU2)): Grund-Deckplatten-Winkel (GDW), Korrektur, Korrekturverlust, Gewinn, Cage-Kippung in sagittaler Ebene (Kippung 1), Cobb-Winkel, und Cage-Kippung in frontaler Ebene (Kippung 2) in Winkelgrad, Sinterung als dimensionsloser Quotient, Mittelwert (Median /±Standardabweichung)

Auch der Vergleich der Patienten mit (n = 13) bzw. ohne (n = 13) additiver Plattenversorgung in der Untergruppe der B-Verletzungen zeigte bei allen erhobenen Variablen keine signifikanten Unterschiede (Tab.6). Die Messdaten der beiden Untergruppen zeigten einen nahezu identischen radiologischen Verlauf.

	B-Verletzungen mit Platte (n = 12)	B-Verletzungen ohne Platte (n = 13)
GDW (präoperativ) (°)	17 (16/ 12,5)	16 (17/ 9,1)
Korrektur (p.o.) (°)	13 (15/ 7,2)	13,2 (11/ 6,9)
Verlust (NU 2) (°)	2,5 (2/ 1,6)	3 (2/ 3,1)
Gewinn (NU 2) (°)	10,5 (13/ 8,3)	10,9 (11/ 6,9)
Sinterung (NU 2) (°)	8,7 (7/ 9,2)	9,8 (6/ 7,6)

Kippung 1 (NU 2) (°)	3,2 (3/ 2,2)	3,9 (3/ 2,5)
Cobb (NU 2)(°)	1,2 (1/ 0,8)	1,1 (1/ 0,9)
Kippung 2 (NU 2) (°)	1,5 (1/ 1,3)	1,9 (1,5/ 1,5)

Tab.6: Deskriptive Statistik der radiologischen Messungen Untergruppen B-Verletzungen mit Platte und B-Verletzungen ohne Platte zu den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten (präoperativ, postoperativ und Nachuntersuchung 2 (NU2)): Grund-Deckplatten-Winkel (GDW), Korrektur, Korrekturverlust, Gewinn, Cage-Kippung in sagittaler Ebene (Kippung 1), Cobb-Winkel und Cage-Kippung in frontaler Ebene (Kippung 2) in Winkelgrad, Sinterung als dimensionsloser Quotient, Mittelwert (Median/ ± Standardabweichung)

Beim Vergleich der mit zusätzlicher Platte bzw. ohne zusätzliche Platte versorgten Patienten mit C-Verletzungen zeigten sich ebenfalls keine signifikanten Unterschiede in den radiologischen Verlaufsergebnissen. Auffallend deutlich unterschied sich die Anzahl der verletzten Wirbelkörper: von den acht Patienten mit einer Rotationsverletzung und ventraler Platte wiesen vier Patienten (50%) eine Mehretagenverletzung mit mindestens einem weiteren verletzten Wirbelkörper auf, während unter den Patienten mit einer C-Verletzung, die keine zusätzliche Platte erhielten, keine Mehretagenverletzung vorlag (Tab.7).

	C-Verletzungen mit Platte (n = 10)	C-Verletzungen ohne Platte (n = 5)
GDW (präoperativ) (°)	13 (11/ 12,1)	6,6 (8/ 3,5)
Korrektur (p.o.) (°)	7 (7/ 5,6)	11,6 (11/ 9)
Verlust (NU 2) (°)	2,3 (2/ 1,8)	2,3 (2,5/ 0,8)
Gewinn (NU 2) (°)	5,3 (4/ 5,6)	9,5 (6/ 9,9)
Sinterung (NU 2) (°)	9 (11/ 6,1)	6,8 (5/ 6,2)
Kippung 1 (NU 2) (°)	2,2 (2/ 1,6)	3,6 (2/ 2,6)
Cobb (NU 2) (°)	2 (1,5/ 2,1)	1,3 (1/ 1,3)
Kippung 2 (NU 2) (°)	1,6 (1/ 1,8)	2 (1,5/ 1,9)

Tab.7: Deskriptive Statistik der radiologischen Messungen Untergruppen C-Verletzungen mit Platte und C-Verletzungen ohne Platte zu den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten (präoperativ, postoperativ und Nachuntersuchung 2 (NU2)): Grund-Deckplatten-Winkel (GDW), Korrektur, Korrekturverlust, Gewinn, Cage-Kippung in sagittaler Ebene (Kippung 1), Cobb-Winkel, und Cage-Kippung in frontaler Ebene (Kippung 2) in Winkelgrad, Sinterung als dimensionsloser Quotient, Mittelwert (Median /±Standardabweichung)

### 3.3.4 Röntgenologische Messdaten der Untergruppen mit Wolter-Platte und mit LC-Platte

Es wurden weiterhin die Ergebnisse des Wolter-Druckplattensystems (n = 20) denen der LC-Platten (n = 17) gegenübergestellt. Auch dieser Vergleich ergab keine signi-

signifikanten Unterschiede (Tab.8).

	Wolter-Platte (n = 20)	LC-Platte (n = 17)
GDW (präoperativ) (°)	16,8 (16/ 10,7)	11,3 (9/ 10)
Korrektur (p.o.) (°)	11,3 (9/ 8,5)	11,6 (10/ 5,8)
Verlust (NU 2) (°)	2,4 (2/ 1,8)	2,2 (2/ 1,5)
Gewinn (NU 2) (°)	9,2 (6/ 9,1)	9,3 (8/ 6,3)
Sinterung (NU 2) (°)	9,4 (8,5/ 8,1)	7,9 (7/ 6,6)
Kippung 1 (NU 2) (°)	2,5 (2/ 2,2)	3 (2,5/ 1,6)
Cobb (NU 2) (°)	1,4 (1/ 1,4)	1,6 (1,5/ 1,5)
Kippung 2 (NU 2) (°)	2,2 (1,5/ 1,9)	1,7 (1/ 1,8)

Tab.8: Deskriptive Statistik der radiologischen Messungen in den Untergruppen Wolter-Platte und LC-Platte zu den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten (präoperativ, postoperativ und Nachuntersuchung 2 (NU2)): Grund-Deckplatten-Winkel (GDW), Korrektur, Korrekturverlust, Gewinn, Cage-Kippung in sagitaler Ebene (Kippung 1), Cobb-Winkel, und Cage-Kippung in frontaler Ebene (Kippung 2) in Winkelgrad, Sinterung als dimensionsloser Quotient, Mittelwert (Median

### 3.3.5 Röntgenologische Messdaten in der Untergruppen der Brustwirbelsäulenverletzungen

Beim Vergleich der Brustwirbelsäulenverletzungen mit (n = 12) bzw. ohne (n = 11) zusätzlicher ventraler Instrumentierung zeigten sich keine signifikanten Unterschiede im radiologischen Verlauf (Tab.9).

	BWS-Verletzungen mit Platte (n = 12)	BWS-Verletzungen ohne Platte (n = 11)
GDW (präoperativ) (°)	23 (24/ 9,3)	17,5 (18/ 10,1)
Korrektur (p.o.) (°)	12,6 (12,5/ 8,4)	8,9 (5/ 8,1)
Verlust (NU 2) (°)	2,5 (2,5/ 1,6)	3,6 (3/ 3,1)
Gewinn (NU 2) (°)	10 (12/ 9,3)	6,3 (4/ 7,5)
Sinterung (NU 2) (°)	8,5 (9/ 7,2)	10,1 (12/ 6,9)
Kippung 1 (NU 2) (°)	2,6 (2/ 2,1)	3,9 (4/ 2,8)
Cobb (NU 2) (°)	1 (1/ 0,7)	1,3 (1/ 1,3)
Kippung 2 (NU 2) (°)	2,1 (1/ 2,1)	1,5 (2/ 2,6)

Tab.9: Deskriptive Statistik der radiologischen Messungen in der Untergruppe der Brustwirbelsäulenverletzungen mit/ohne Platte zu den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten (präoperativ, postoperativ und Nachuntersuchung 2 (NU2)): Grund-Deckplatten-Winkel (GDW), Korrektur, Korrekturverlust, Gewinn, Cage-Kippung in sagitaler Ebene (Kippung 1), Cobb-Winkel, und Cage-Kippung in frontaler Ebene (Kippung 2) in Winkelgrad, Sinterung als dimensionsloser Quotient, Mittelwert (Median /±Standardabweichung)

### 3.3.6 Röntgenologische Messdaten in der Untergruppe der Lendenwirbelsäulenverletzungen

Auch der Vergleich der Lendenwirbelsäulenverletzungen mit (n = 25) bzw. ohne (n = 19) zusätzlicher ventraler Instrumentierung wies im radiologischen Verlauf keine signifikanten Unterschiede auf (Tab.10).

	LWS-Verletzungen mit Platte (n = 25)	LWS-Verletzungen ohne Platte (n = 19)
GDW (präoperativ) (°)	9,7 (8,5/ 8,8)	9,5 (10/ 7,9)
Korrektur (p.o.) (°)	10,8 (10/ 6,9)	12,1 (1,1/ 7,1)
Verlust (NU 2) (°)	2,2 (2/ 1,7)	2,8 (3/ 2)
Gewinn (NU 2) (°)	8,8 (7,5/ 7,4)	9,7 (8/ 7,7)
Sinterung (NU 2) (°)	8,8 (7/ 7,6)	8,3 (5/ 8,1)
Kippung 1 (NU 2) (°)	2,8 (3/ 1,9)	3,7 (3/ 2,2)
Cobb (NU 2) (°)	1,7 (2/ 1,6)	1,7 (2/ 1,1)
Kippung 2 (NU 2) (°)	2 (1/ 1,8)	1,5 (2/ 1,1)

Tab.10: Deskriptive Statistik der radiologischen Messungen in der Untergruppe der Lendenwirbelsäulenverletzungen mit/ohne Platte zu den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten (präoperativ, postoperativ und Nachuntersuchung 2 (NU2)): Grund-Deckplatten-Winkel (GDW), Korrektur, Korrekturverlust, Gewinn, Cage-Kippung in sagitaler Ebene (Kippung 1), Cobb-Winkel, und Cage-Kippung in frontaler Ebene (Kippung 2) in Winkelgrad, Sinterung als dimensionsloser Quotient, Mittelwert (Median /±Standardabweichung)

### 3.3.7 Beurteilung der knöchernen Fusion in den computertomographischen Aufnahmen

Die Beurteilung der knöchernen Fusion eines versorgten Wirbelsäulenabschnittes erfolgte in computertomographischen Aufnahmen auf drei definierten Schnittebenen nach folgenden drei Kriterien:

- Knöcherne Durchbauung innerhalb des Cages
- Knöcherne Spangenbildung entlang des stabilisierten Segmentes
- Fehlen/ Vorhandensein von Resorptionszonen und/ oder Lysezeichen innerhalb des Cages oder in dessen unmittelbarer Umgebung

Für die erste Nachuntersuchung lagen die Ergebnisse von 51 und für die zweite Nachuntersuchung von 67 Verletzungen (66 Patienten) vor.

Nach einem Jahr waren von allen versorgten Wirbelsäulensegmenten im Gesamtkollektiv bereits 45% komplett (Grad 1, n = 23) und 53% (Grad 2, n = 27) inkomplett fusioniert. In einem Fall (2%) war das Cage-Innere noch nicht komplett knöchern durchbaut

(Grad 3). Zur zweiten Nachuntersuchung lag die Grad-1-Fusionsrate bei 60% (n = 40), die Grad-2-Fusionsrate bei 40% (n = 27) und Grad-3-Fusionsrate bei 0% (n = 0). Unter den 51 Verletzungen mit Ergebnissen der ersten und zweiten Nachuntersuchung, die nach einem Jahr noch nicht komplett fusioniert waren (n = 28; 54,9%) kam es in 29% (n = 8) der Fälle im weiteren zeitlichen Verlauf zu einer Zunahme der Fusion. Der Anteil hierunter lag in der Gruppe 1 (n = 8) signifikant höher als in der Gruppe 2 (n = 3) (p < 0,05)

In 26 Fällen (96,3%) der nach zwölf Monaten inkomplett fusionierten Verletzungen (Grad 2) war es zu einer durchgehenden knöchernen Durchbauung des Cage-Inneren gekommen. Keiner dieser Fälle konnte jedoch trotz Anlage von Spongiosa am Cage-Äußeren eine durchgehende ventrale oder laterale Spangenbildung aufweisen. In vier Fällen (14,8%) zeigten sich in der Umgebung der Implantate Lyseherde bzw. Resorptionszonen. Nach durchschnittlich 32 Monaten war in allen Fällen der Grad-2-Fusionen die fehlende bzw. inkomplette knöchernen Spangenbildung die Ursache für die entsprechende Fusionsbeurteilung.

Zur kompletten knöchernen Konsolidierung kam es in der Gruppe mit additiver Platte signifikant schneller und häufiger als in der Gruppe ohne additive Platte. Nach einem Jahr waren in der Gruppe 1 63% (n = 17) der Verletzungen komplett und 37% (n = 10) inkomplett fusioniert gegenüber 25% (n = 6) mit einem Grad-1-, 71% (n = 17) mit einem Grad-2- und 4% (n = 1) mit einem Grad-3-Fusionsergebnis in der Gruppe 2 (p < 0.05). Die Ergebnisse der zweiten Nachuntersuchung zeigten in der Gruppe 1 in 81% (n = 30) der Fälle einen Fusionsgrad 1 und in 19% (n = 7) einen Fusionsgrad 2. In 94% der Fälle hatte sich in der Gruppe 1 eine knöchernen Spange entlang bzw. direkt unterhalb der Platte gebildet. In der Gruppe 2 lag der Anteil der kompletten Fusionen nach 32 Monaten bei 33% (n = 10), der der Grad-2-Fusionen bei 64% (n = 19) und der der Grad-3-Fusionen (n = 1) bei 3% (p < 0.001) (Tab.16 und Tab.17).

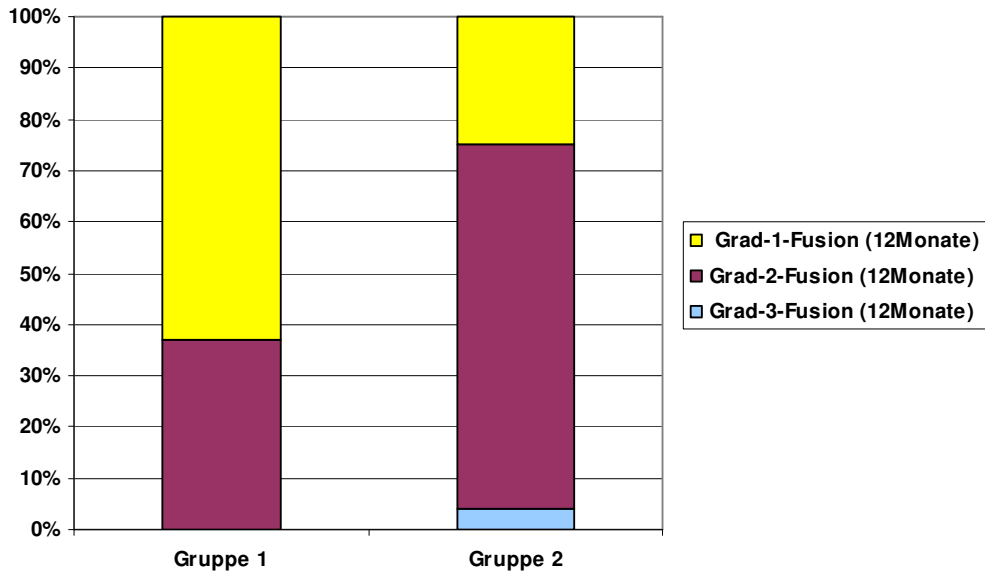


Abb.16: Knöchelne Fusion der Gruppe 1 mit Platte (n = 27) und der Gruppe 2 ohne Platte (n = 24) nach 12 Monaten

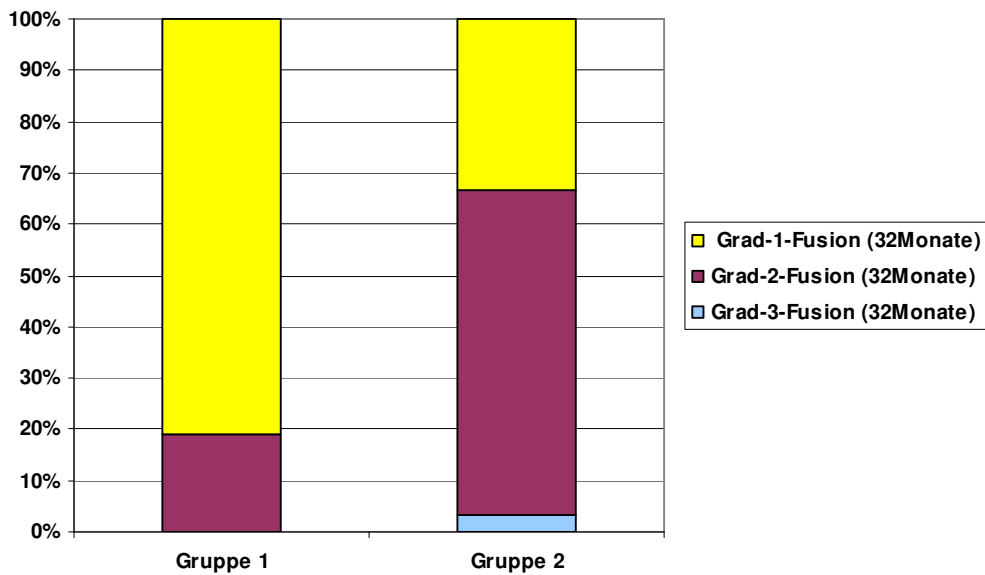


Abb.17: Knöchelne Fusion der Gruppe 1 mit Platte (n = 37) und der Gruppe 2 ohne Platte (n = 30) nach 32 Monaten

Die signifikant höhere knöcherner Fusionsrate unter den mit einer zusätzlichen ventralen Platte versorgten Verletzungen zeigt sich auch im Vergleich der Ergebnisse in den Untergruppen der A-, B- und C-Verletzungen (Tab. 11 und 12). Unter den mit Platte versorgten A-Verletzungen lag der Fusionsgrad 1 nach 32 Monaten bei 93% (n = 14) gegenüber 46% (n = 5) bei Verletzungen ohne Platte ( $p < 0.05$ ), unter den B-Verletzungen war das Verhältnis 77% (n = 10) gegenüber 31% (n = 4) ( $p < 0.05$ ) und unter den C-Verletzungen 67% (n = 6) gegenüber 0% (n = 0) ( $p < 0.05$ ).

Beim Vergleich der Brust- und Lendenwirbelsäulenverletzungen mit additiver Plattenapplikation fiel nach durchschnittlich zwölf Monaten mit 87,5% eine signifikant höhere Grad-1-Fusionsrate zugunsten der Gruppe der Brustwirbelsäulenverletzungen gegenüber 55,6% in der Gruppe der Lendenwirbelsäulenverletzungen auf ( $p < 0,05$ ).

Weiterhin verdeutlichte sich zum Zeitpunkt der zweiten Nachuntersuchung für Verletzungen mit und ohne zusätzliche Platte ein signifikanter negativer Zusammenhang zwischen der Schwere der Verletzung und dem Fusionsergebnis ( $p < 0,01$ ).

(nach 12 Monaten)	Grad 1 Fusion	Grad 2 Fusion	Grad 3 Fusion
A-Verletzung mit Platte	66,6% (n = 8)	33,4% (n = 4)	0% (n = 0)
A-Verletzung ohne Platte	36,3% (n = 4)	63,7% (n = 7)	0% (n = 0)
B-Verletzung mit Platte	62,5% (n = 5)	37,5% (n = 3)	0% (n = 0)
B- Verletzung ohne Platte	22,2% (n = 2)	66,6% (n = 6)	11,1% (n = 1)
C- Verletzung mit Platte	57,1% (n = 4)	42,9% (n = 3)	0% (n = 0)
C- Verletzung ohne Platte	0% (n = 0)	100% (n = 4)	0% (n = 0)

Tab.11: Fusionsergebnis der A-, B- und C-Verletzungen nach 12 Monaten

(nach 32 Monaten)	Grad 1 Fusion	Grad 2 Fusion	Grad 3 Fusion
A-Verletzung mit Platte	93,3% (n = 14)	6,7 (n = 1)	0% (n = 0)
A- Verletzung ohne Platte	45,5% (n = 5)	54,5% (n = 6)	0% (n = 0)
B-Verletzung mit Platte	77% (n = 10)	23% (n = 3)	0% (n = 0)
B- Verletzung ohne Platte	30,7% (n = 4)	61,6% (n = 8)	7,7% (n = 1)
C- Verletzung mit Platte	66,6% (n = 6)	33,3% (n = 3)	0% (n = 0)
C- Verletzung ohne Platte	0% (n = 0)	100% (n = 5)	0% (n = 0)

Tab.12: Fusionsergebnis der A-, B- und C-Verletzungen nach 32 Monaten



Das Plattendesign hatte keinen erkennbaren Einfluss auf die knöchernen Konsolidierung der Verletzungen. Der Vergleich der beiden winkelstabilen Plattentypen ergab keine signifikanten Unterschiede.

### 3.3.8 Repräsentative Fallbeispiele

Im Folgenden werden exemplarisch einige Patienten mit einem repräsentativen radiologischen Verlauf vorgestellt.

#### Fallbeispiel 1

Ein 33-jähriger Mann erlitt im Rahmen eines Balkonsturzes im Urlaub eine A.3.2.1-Verletzung des Wirbelkörpers LWK2 ohne neurologisches Defizit und eine linksseitige Kalkaneusfraktur. Zur operativen Versorgung wurde er an das Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie der Charité (Berlin) überwiesen. Die dort bestimmte präoperative kyphotische Fehlstellung, gemessen im Grund-Deckplatten-Winkel, betrug 23°. Die CT-Schichtbilder zeigten einen kranial erheblich destruierten zweiten Lendenwirbelkörper mit einem weitgehend intakten kaudalen Anteil, in dem sich ein sagittaler Split darstellte. Im Rahmen einer monosegmentalen dorso-ventralen Stabilisierung entschied sich der Operateur zum Zweck der Sicherung des Cages für das Einbringen einer zusätzlichen ventralen Platte (LCP, 4-Loch, Synthes Solothurn, Schweiz), deren kaudale Schraube gleichzeitig der Fixierung des Splits diente. Die präoperativ bestimmte kyphotische Fehlstellung wurde um 12° korrigiert. Den radiologischen und klinischen Verlauf bis zur zweiten Nachuntersuchung zeigen die Tabellen 13 und 14.

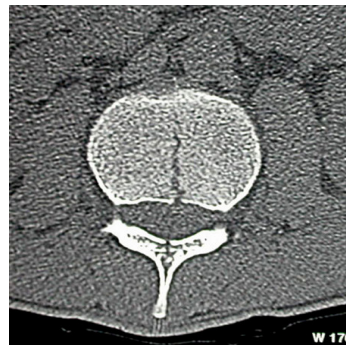
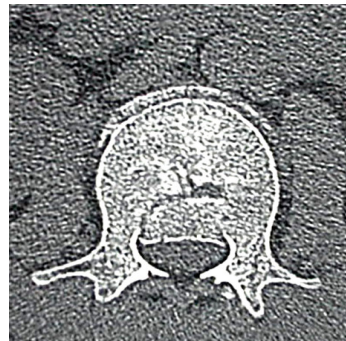
	NU1 (12 Monate post-op.)	NU2 (24 Monate post-op.)
Verlust (°)	1	2
Gewinn (°)	11	10
Sinterung	2	5
Kippung 1 (°)	2	3
Cobb (°)	2	2
Kippung 2 (°)	1	1
Fusion	Grad 1	Grad 1

Tab.13: Fallbeispiel 1, radiologischer Verlauf

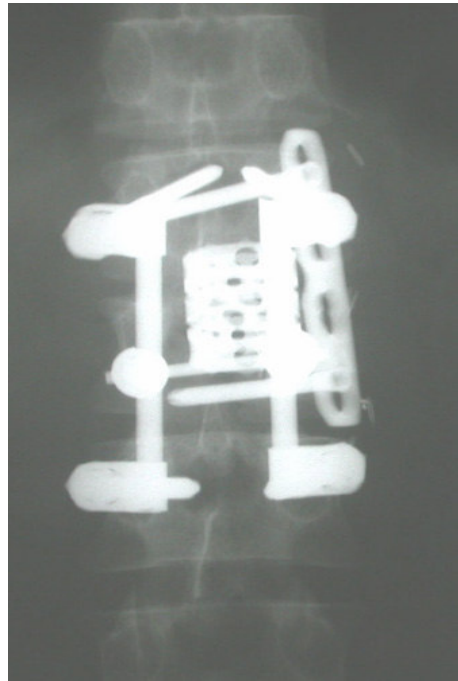
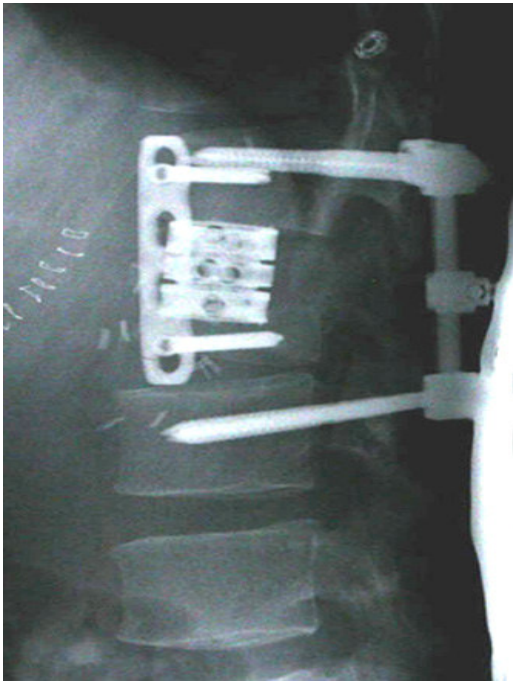
	NU1 (12 Monate post-op.)	NU2 (24 Monate post-op.)
Neurologie (ASIA/ Frankel)	E	E
FBA (cm)	45	7
Ott-Maß (cm)	2	2
Schober-Maß (cm)	2	3
Ruheschmerz	gelegentlich	nie
Belastungsschmerz	häufig	gelegentlich
Schmerzlokalisation (Rücken/ Gesäß/ Beine)	70/ 30/ 0	30/ 0/ 0

Tab.14: Fallbeispiel 1, klinischer Verlauf

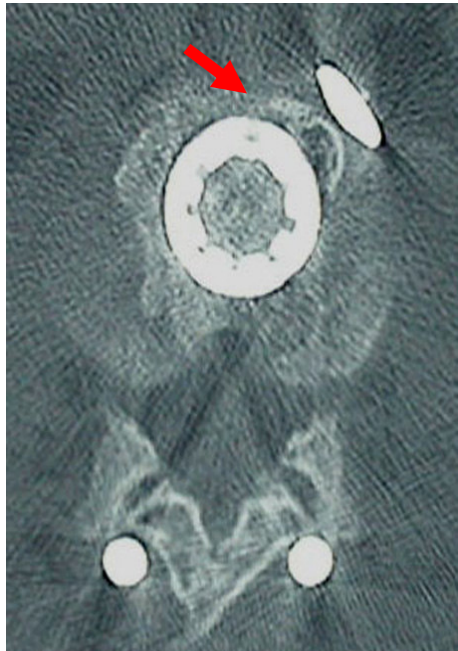
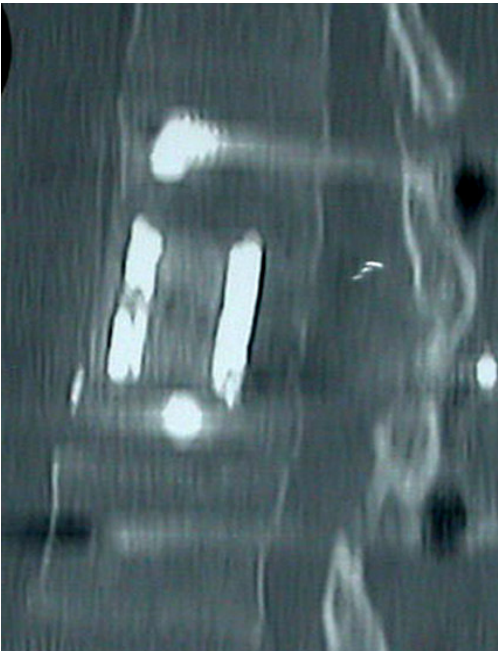
Der Korrekturverlust und die Cage-Sinterung lagen geringgradig unter den Durchschnittswerten des Gesamtkollektivs. Die computertomographischen Aufnahmen zeigten eine vollständige knöcherne Durchbauung des Cages, eine durchgehende Knochenspanne unterhalb der Platte (roter Pfeil in Bilderreihe c) und keine Zeichen von Lyseherden bereits nach einem Jahr. Der Patient ging neun Monate nach der Verunfallung seinem alten Beruf nach. Er war weitgehend schmerzfrei und in seinen alltäglichen Verrichtungen nur geringgradig eingeschränkt (Abb. in Fallbeispiel 1).



a



b



c

Fallbeispiel 1: a) präoperativ, b) postoperativ, c) nach 12 Monaten

### Fallbeispiel 2

Ein 49-jähriger Mann zog sich bei einem Leitersturz aus 1,5 m Höhe eine isolierte A 3.3.2 Verletzung des zweiten Lendenwirbelkörpers ohne neurologisches Defizit zu. Die radiologische Diagnostik sowie die operative Versorgung erfolgten im Centrum für

Muskuloskeletale Chirurgie der Charité (Berlin). Präoperativ zeigte sich eine kyphotische Fehlstellung mit einem Grund-Deckplatten-Winkel von einem Grad sowie eine komplette Wirbelkörperberstung mit dezenter stempelförmiger Hinterkantendislokation in den Spinalkanal. Nach bisegmentaler dorsaler Stabilisierung und einem Intervall von neun Tagen wurde der Patient im Rahmen des ventralen Eingriffs mit einem Korporektomie-Cage ohne additive Plattenapplikation versorgt. Den radiologischen Verlauf nach operativer Korrektur von 16° zeigen die Tabellen 15 und 16 sowie die röntgenologische Bilddokumentation.

	NU1 (12 Monate post-op.)	NU2 (24 Monate post-op.)
Verlust (°)	2	3
Gewinn (°)	14	13
Sinterung	2	4
Kippung 1 (°)	2	3
Cobb (°)	2	2
Kippung 2 (°)	2	2
Fusion	Grad 2	Grad 2

Tab.15: Fallbeispiel 2, radiologischer Verlauf

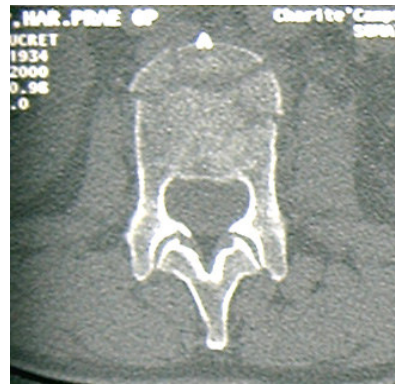
	NU1	NU2
Neurologie (ASIA/ Frankel)	E	E
FBA (cm)	30	12
Ott-Maß (cm)	3	3
Schober-Maß (cm)	2	2
Ruheschmerz	gelegentlich	gelegentlich
Belastungsschmerz	gelegentlich	gelegentlich
Schmerzlokalisierung	10/ 0/ 0	10/ 0/ 0

Tab.16: Fallbeispiel 2, klinischer Verlauf

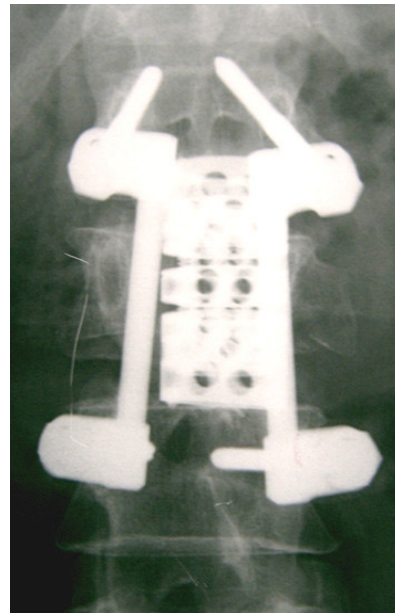
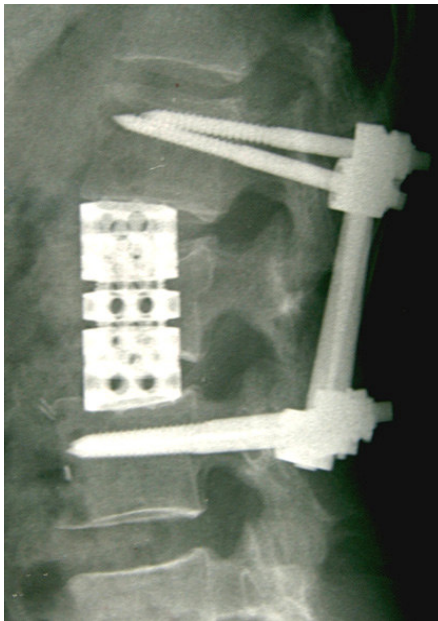
Die Werte des Korrekturverlustes und der Cage-Sinterung lagen nach 24 Monaten unter den Durchschnittswerten für das Gesamtkollektiv. Das Operationsergebnis war insgesamt zufrieden stellend. Repräsentativ für das Patientenkollektiv ohne additive ventrale Instrumentierung war es in diesem Fall trotz Anlagerung von Knochenspongiosa ventral



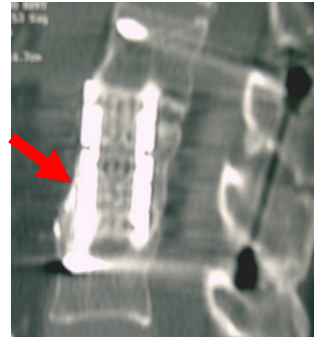
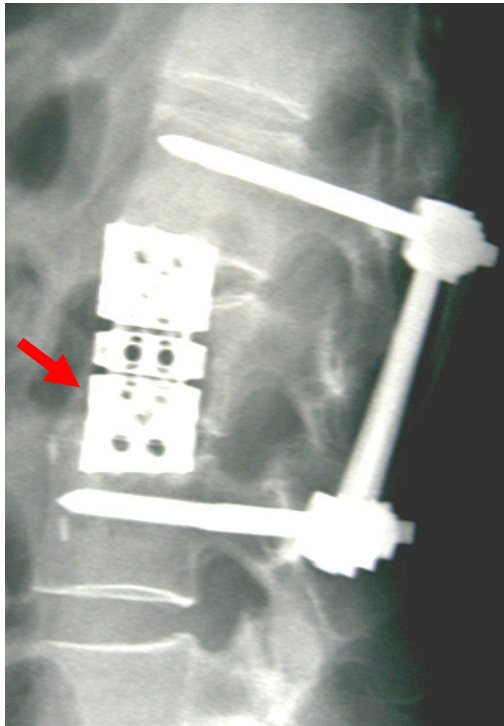
des Cages nicht zu einer durchgehenden Spangenbildung gekommen. Die Rekonstruktion der computertomographischen Aufnahme zeigte zwar eine knöcherne Durchbauung des Cages, hingegen waren Zeichen einer Spangenbildung nur in der kaudalen Schnittebene zu erkennen (roter Pfeil in Bilderreihe c).



a



b



c

Fallbeispiel 2: a) präoperativ, b) postoperativ, c) nach 24 Monaten

### Fallbeispiel 3

Eine 19 jährige Frau erlitt bei einem Verkehrsunfall eine B1.2.1 Verletzung des zwölften Brustwirbelkörpers mit einer inkompletten Querschnittslähmung (ASIA/ Frankel C) unterhalb des Segments LWK2/ 3. Die präoperative Kyphose von 23° wurde im Rahmen einer bisegmentalen dorso-ventralen Stabilisierung ohne zusätzliche ventrale Platte um 19° korrigiert. Der radiologische und klinische Verlauf des Nachuntersuchungszeitraums (36 Monate) wird in den Tabellen 17 und 18 zusammengefasst.

	NU1 (12 Monate post-op.)	NU2 (36 Monate post-op.)
Verlust (°)	4	5
Gewinn (°)	15	14
Sinterung	11	12
Kippung 1 (°)	5	8
Cobb (°)	1	1
Kippung 2 (°)	1°	2
Fusion	Grad 3	Grad 2

Tab.17: Fallbeispiel 3, radiologischer Verlauf

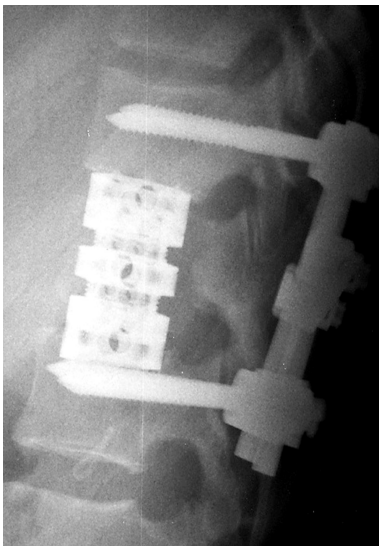
	NU1 (12 Monate post-op.)	NU2 (36 Monate post-op.)
Neurologie (ASIA/ Frankel)	C	C
FBA (cm)	23	14
Ott-Maß (cm)	2	2
Schober-Maß (cm)	2	1
Ruheschmerz	gelegentlich	nie
Belastungsschmerz	häufig	gelegentlich
Schmerzlokalisierung (Rücken/ Gesäß/ Beine)	30/ 80/ 80	40/ 50/ 40

Tab.18: Fallbeispiel 3, klinischer Verlauf

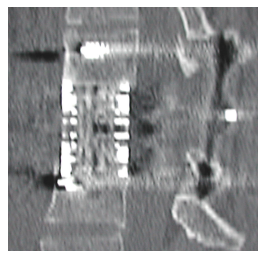
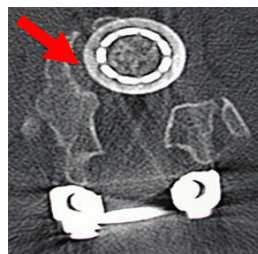
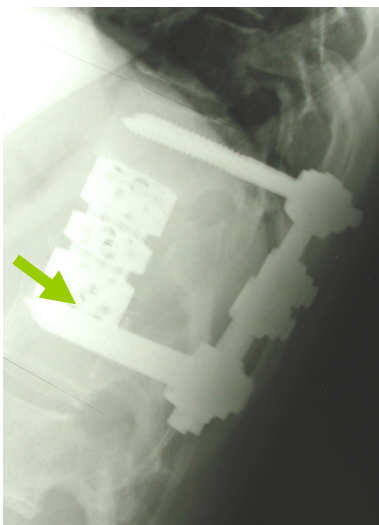
Die computertomographischen Schichtbilder zeigen zur zweiten Nachuntersuchung bei dieser Patientin zwar einen knöchernen Durchbau des Wirbelkörperersatz-Cages, dieser ist jedoch im Nachuntersuchungszeitraum mit dem kaudalen Anteil in den benachbarten Wirbelkörper eingesintert (grüner Pfeil in Bilderreihe c) und steht auch nach 36 Monaten trotz Anlagerung von Spongiosaresten im Rahmen der ventralen Versorgung ohne Kontakt zum umgebenden Knochen frei in der Defekthöhle (roter Pfeil in Bilderreihe c). Weder ventral noch lateral des Cages kam es zur Ausbildung einer knöchernen Spange. Die Patientin berichtete zwar von einem Rückgang ihrer Schmerzen, zeigte aber bedauerlicherweise keine Besserung der neurologischen Symptome.



a



b



c

Fallbeispiel 3:a) präoperativ, b) postoperativ, c) nach 36 Monaten



#### Fallbeispiel 4

Eine 59 jährige Frau erlitt im Rahmen eines Verkehrsunfalls ein Polytrauma mit einer Wirbelsäulenkettenverletzung (C1.3.3 Verletzung des zwölften Wirbelkörpers und Verletzungen der Brustwirbelkörper 6,8 und 11) und initial komplettem sensomotorischen Querschnittssyndrom, einem Schädelhirntrauma mit epiduralem Hämatom und einer beidseitigen Rippenserienfraktur. Die Patientin wurde dorsal langstreckig von BWK 4, 5, 7, 9, 10 auf LWK1, 2 stabilisiert und nach einem Intervall von dreizehn Tagen im Rahmen einer ventralen Spondylodese mit einem Korporektomie-Cage und zusätzlicher Plattenaugmentation (Wolter-Druckplattenfixateur, Link, Hamburg, Deutschland) über die Segmente Th11 und Th12 versorgt. Die präoperativ bestimmte kyphotische Fehlstellung von 20° wurde um 19° korrigiert. Den weiteren radiologischen sowie den klinischen Verlauf zeigen die Tabellen 19 und 20.

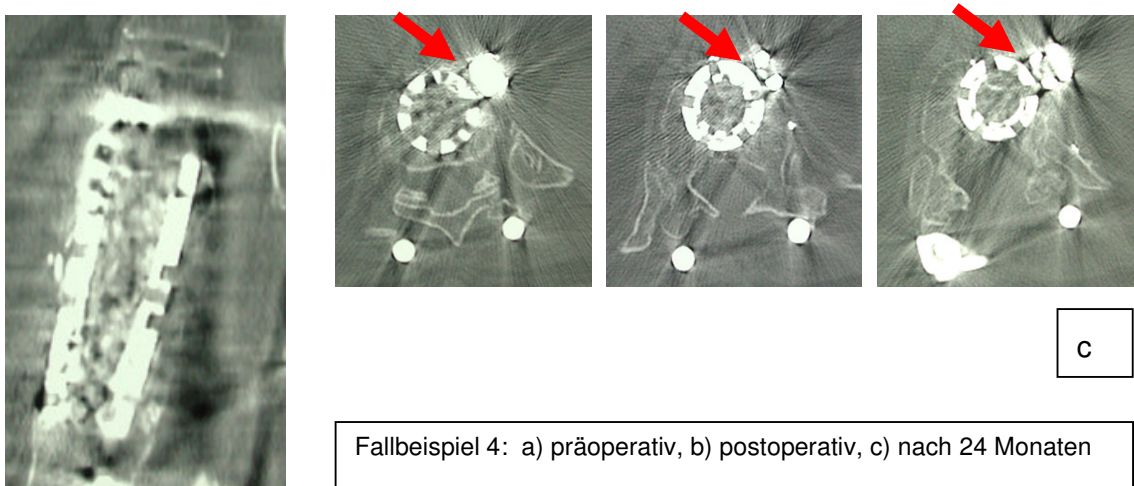
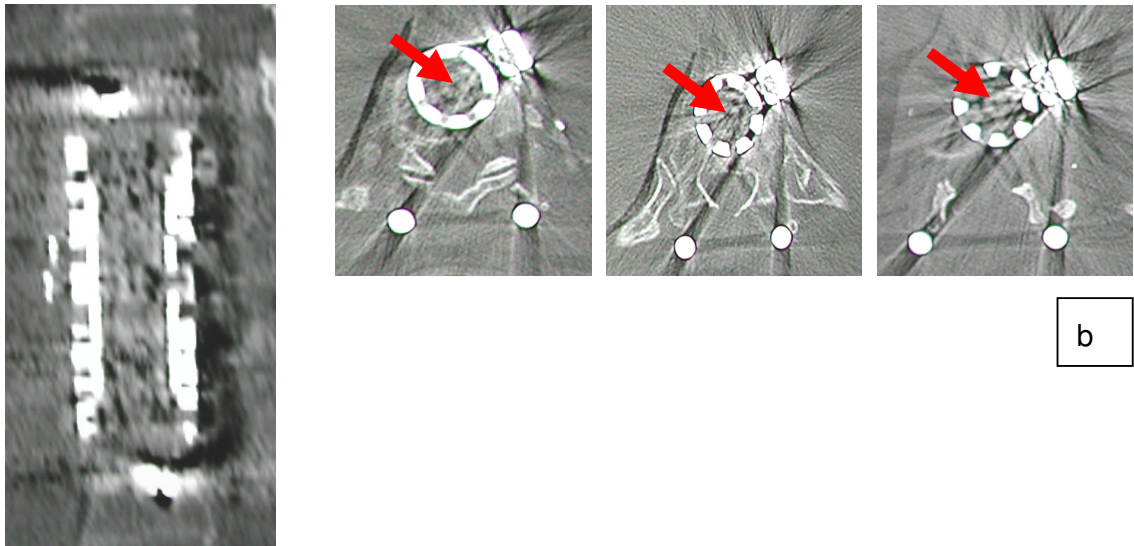
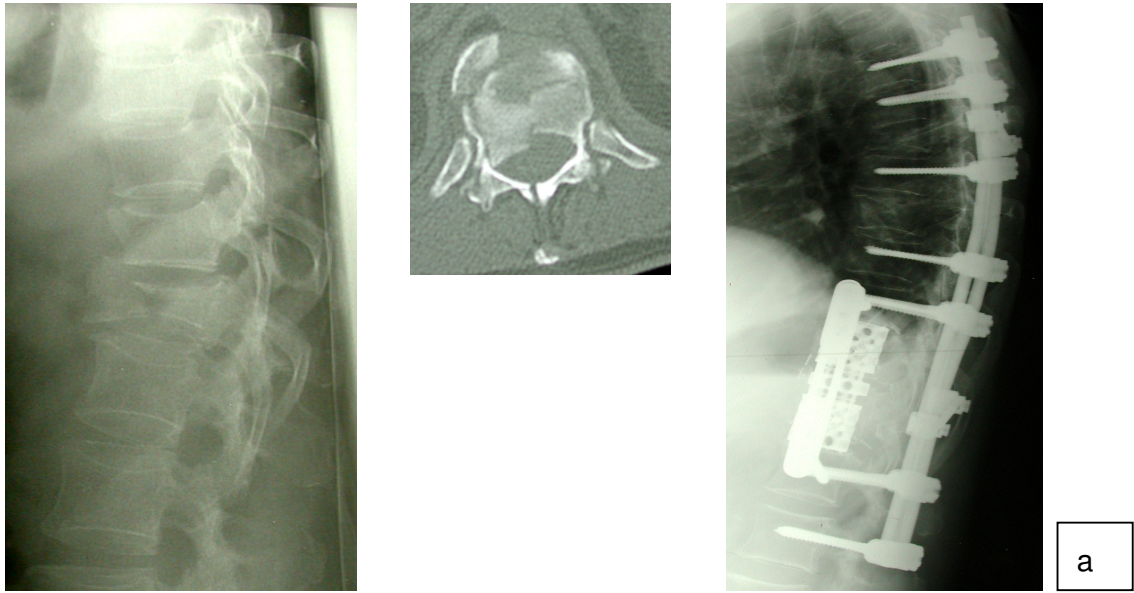
	NU1 (12 Monate post-op.)	NU2 (38 Monate post-op.)
Verlust (°)	1	1
Gewinn (°)	18	18
Sinterung	0	0
Kippung 1 (°)	1	1
Cobb (°)	1	1
Kippung 2 (°)	0	1
Fusion	Grad 2	Grad 1

Tab.19: Fallbeispiel 4, radiologischer Verlauf

	NU1 (12 Monate post-op.)	NU2 (38 Monate post-op.)
Neurologie (ASIA/ Frankel)	D	E
FBA (cm)	36	12
Ott-Maß (cm)	1	2
Schober-Maß (cm)	2	2
Ruheschmerz	häufig	gelegentlich
Belastungsschmerz	häufig	gelegentlich
Schmerzlokalisierung (Rücken/Gesäß/Beine)	50/ 0/ 70	30/ 0/ 30

Tab.20: Fallbeispiel 4, klinischer Verlauf

Trotz der Größe der Defekthöhle, welche nach der subtotalen Entfernung des elften und zwölften Brustwirbelkörpers entstand und durch einen weit distrahierten Korporektomie-Cage überbrückt werden musste, kam es während des gesamten Nachuntersuchungszeitraumes zu einem Korrekturverlust von lediglich einem Grad. Die computertomographischen Aufnahmen wurden auf sechs statt drei coronaren Ebenen hinsichtlich der Fusionskriterien analysiert. Nach zwölf Monaten zeigten sich bereits eine knöcherne Durchbauung des Cage-Inneren, sowie Zeichen einer knöchernen Spangenbildung unterhalb des ventralen Plattensystems auf drei der sechs Ebenen. Dies entsprach einem Fusionsgrad 2. Nach 38 Monaten stellte sich die Knochenspange durchgehend und kräftig ausgebildet in allen untersuchten Ebenen dar (Fallbeispiel 4, rote Pfeile in Bilderreihe b und c). Zwischen dem Cage und den verbliebenen Wirbelkörperanteilen zeigten sich keine Resorptionszonen, so dass das Ergebnis trotz der Größe der Defekthöhle einem Fusionsgrad 1 entsprach. Das klinische Nachuntersuchungsergebnis war bei vollständiger Rückbildung des neurologischen Defizits, Rückgang von Ruhe- und Belastungsschmerz und einer Zunahme der Wirbelsäulenbeweglichkeit ebenfalls zufrieden stellend.



Fallbeispiel 4: a) präoperativ, b) postoperativ, c) nach 24 Monaten

### 3.4 Klinische Ergebnisse

#### 3.4.1 Neurologischer Verlauf

Der neurologische Aufnahmebefund und die Verlaufsergebnisse liegen von insgesamt 58 Patienten (87,9%) vor. Von diesen wiesen zum Aufnahmezeitpunkt neun Patienten (15,5%) eine komplette Querschnittslähmung (Frankel A), sieben Patienten (12%) eine inkomplette Querschnittslähmung (ASIA/ Frankel B, C oder D) und 42 Patienten (72,4%) keine neurologischen Defizite auf.

Sechs der Patienten mit anfänglichem komplettem Querschnittssyndrom verbesserten sich um zwei oder drei Stufen (drei mal von ASIA/ Frankel A auf C, drei mal auf ASIA/ Frankel D), zwei Patienten wiesen am Ende der Nachuntersuchungen keine sensorischen Beschwerden mehr auf (ASIA/ Frankel E) und bei einem Patienten blieb der Befund unverändert. Von den sieben Patienten mit einer inkompletten Querschnittslähmung bei Aufnahme (dreimal ASIA/ Frankel C, viermal ASIA/ Frankel D) erreichten fünf die Stufe ASIA/ Frankel E, zwei Patienten hatten auch zum Zeitpunkt der letzten Nachuntersuchungen neurologische Beschwerden (einmal ASIA/ Frankel C, einmal ASIA/ Frankel D). Bei einem Patienten kam es im Verlauf des stationären Aufenthalts zu einer passageren Harninkontinenz (ASIA/ Frankel E auf D), die sich allerdings bis zur letzten Nachuntersuchung zurückgebildet hatte. Die übrigen 41 Patienten mit einem intakten neurologischen Befund bei Aufnahme blieben im gesamten Verlauf beschwerdefrei.

Der Anteil der Patienten mit einer initial kompletten Querschnittslähmung war in der Gruppe 1 (n = 31) mit 12,5% (n = 4) niedriger gegenüber 18% (n = 5) in der Gruppe 2 (n = 27). Von diesen vier Patienten der Gruppe 1 erreichten drei zum Zeitpunkt der Entlassung die Stufe ASIA/ Frankel D und ein Patient die Stufe ASIA/ Frankel C. Letzterer zeigte auch im Nachuntersuchungszeitraum keine weitere Verbesserung mehr. Vier der sechs Patienten (18,6%) der Gruppe 1 mit der Diagnose ASIA/ Frankel D bei Entlassung erholten sich bis zur letzten Nachuntersuchung vollständig (ASIA/ Frankel E), zwei Patienten (6,2%) behielten leichte neurologische Defizite im Sinne von Parästhesien an den unteren Extremitäten (ASIA/ Frankel D). In der Gruppe 2 war nicht nur der Anteil der Patienten mit einer kompletten Querschnittslähmung höher als in der Gruppe 1; auch lag der Anteil der Patienten, deren Diagnose sich während des stationären Aufenthaltes von ASIA/ Frankel A um mindestens zwei Stufen verbesserte mit 11,1% (n = 3) geringfügig niedriger als in der Gruppe 1 (12,5%, n = 4). Zwei der Patienten

zeigten auch bei ihrer Entlassung ein komplettes Querschnittsyndrom, welches sich im Nachuntersuchungszeitraum nur bei einem Patienten um zwei Stufen auf ASIA/ Frankel C verbesserte. Nur einer (3,7%) der vier (14,8%) Patienten mit inkompletten neurologischen Defiziten (ASIA/ Frankel C oder D) zum Zeitpunkt der Entlassung erholte sich im Laufe der Nachuntersuchungen um eine Stufe (ASIA/ Frankel C auf D). Bei einem weiteren Patienten musste die Diagnose aufgrund einer neu aufgetretenen passageren Harninkontinenz von ASIA/ Frankel E um eine Stufe auf ASIA/ Frankel D korrigiert werden. Der neurologische Befund verbesserte sich bis zur letzten Nachuntersuchung im Gesamtkollektiv um durchschnittlich 1,6, in der Gruppe 1 um 2,2 und der Gruppe 2 um 1,3 Schritte in der Klassifikation nach ASIA/ Frankel (Tab.21, 22).

ASIA/ Frankel	A (bei Entlassung)	B (bei Entlassung)	C (bei Entlassung)	D (bei Ent- lassung)	E (bei Entlassung)
A (bei Aufnahme)			1 (3,2%)	2 (6,4%)	1 (3,2%)
B (bei Aufnahme)					
C (bei Aufnahme)					1 (3,2%)
D (bei Aufnahme)					2 (6,4%)
E (bei Aufnahme)					24 (77,4%)

Tab.21: Neurologischer Befund in der Gruppe 1 (mit additiver Plattenapplikation) bei stationärer Aufnahme (Zeilen) und bei der letzten Nachuntersuchung (Spalten)

ASIA/ Frankel	A (bei Entlassung)	B (bei Entlassung)	C (bei Entlassung)	D (bei Entlassung)	E (bei Entlassung)
A (bei Aufnahme)	1 (3,7%)		1 (3,7%)	2 (7,4%)	1 (3,7%)
B (bei Aufnahme)					
C (bei Aufnahme)			1 (3,7%)		1 (3,7%)
D (bei Aufnahme)				1 (3,7%)	1 (3,7%)

E (bei Aufnahme)				1 (3,7%)	17 (62,9%)
------------------	--	--	--	----------	------------

Tab.22: Neurologischer Befund in der Gruppe 2 (ohne additive Plattenapplikation) bei stationärer Aufnahme (Zeilen) und bei der letzten Nachuntersuchung (Spalten)

### 3.4.2 Wirbelsäulenbeweglichkeit

Für das Ott- und das Schober-Maß sowie den Finger-Boden-Abstand liegen die Ergebnisse der Nachuntersuchungen von insgesamt 50 Patienten vor. Die Beweglichkeit der thorakalen und lumbalen Wirbelsäule für Flexionsbewegungen nahm bei großen interindividuellen Unterschieden insgesamt zu. Das mittlere Ott-Maß stieg von 1,7 cm auf 2,2 cm, das Schober-Maß von durchschnittlich 2,4 cm auf 3,1 cm. Diese Veränderungen waren statistisch nicht signifikant. Der Finger-Boden-Abstand verringerte sich dementsprechend in der gleichen Zeit im Durchschnitt von 25,7 cm auf 16,9 cm ( $p < 0,05$ ). Bei drei Patienten wurde in dieser Zeit das dorsale Implantat aufgrund lokaler Druckbeschwerden entfernt.

Die Auswertung des Ott- und des Schober-Maßes sowie des Finger-Boden-Abstandes zeigte beim Vergleich der Untergruppen 1 ( $n = 27$ ) und 2 ( $n = 23$ ) keine signifikanten Unterschiede. Durchschnittlich zwölf Monate postoperativ lag das Ott-Maß in der Gruppe 1 bei 1,4 cm und in der Gruppe 2 bei 2 cm. Die zweite Nachuntersuchung ergab in der Gruppe 1 einen Wert von 1,9 cm und in der Gruppe 2 einen Wert von 2,6 cm. Das Schober-Maß stieg zwischen den beiden Nachuntersuchungen in der Gruppe 1 von 2,4 cm auf 3,2 cm und in der Vergleichsgruppe von 2,4 cm auf 3 cm. Der Finger-Boden-Abstand nahm in der Gruppe 1 ( $n = 25$ ) zwischen der ersten und zweiten Nachuntersuchung von 27,7 cm auf 15,4 und in der Gruppe 2 von 23,5 cm auf 18,7 cm ab (Tab.23).

	Ott (cm) (ø 12 Mo)	Ott (cm) (ø 32 Mo)	Schober (cm) (ø 12 Mo)	Schober (cm) (ø 32 Mo)	FBA (cm) (ø 12 Mo)	FBA (cm) (ø 32 Mo)
Gesamtkollektiv	1,7 (0-6)	2,2 (0-6)	2,4 (0-5)	3,1 (1-5)	25,7 (0-65)	16,9 (0-51)
Gruppe 1	1,4 (0-5)	1,9 (0-5)	2,4 (0-5)	3,2 (1-5)	27,7 (0-65)	15,4 (0-51)
Gruppe 2	2 (1-6)	2,6 (1-6)	2,4 (1-5)	3 (1-4)	23,5 (0-47)	18,7 (0-40)

Tab.23: Mittelwerte (Minimum-Maximum) der jeweiligen Untersuchungsmaße nach ø12 und ø32 Monaten

### 3.4.3 Schmerzintensität und Schmerzentwicklung

Es liegen von insgesamt 41 Patienten Angaben zur Schmerzintensität für beide Nachuntersuchungen vor. Diese erfassen das Schmerzausmaß in Rücken, Gesäß und Beinen und wurden auf einer visuellen Analogskala von 0 bis 100 angegeben. Der durchschnittliche Wert für Schmerzen im Rücken lag zur vorletzten Nachuntersuchung (ø 12 Monate) bei 38,5 (Stabw.: 24,4) und sank bis zur zweiten Nachuntersuchung (ø 32 Monate) auf 26 (Stabw.: 22,4) ab ( $p < 0,001$ ). Ähnlich deutlich fielen die Werte für die im Gesäß lokalisierten Schmerzen von 16,3 (Stabw.: 26,7) auf 8,8 (Stabw.: 16,1) und die in den Beinen lokalisierten Schmerzen von 11,4 (Stabw.: 24) auf 7,9 (Stabw.: 15,9) ( $p < 0,001$ ).

Die Schmerzen traten häufiger belastungsabhängig als in Ruhe auf. Bei der ersten Nachuntersuchung gaben 9,7% ( $n = 4$ ) der 41 dokumentierten Patienten ständig, 17,1% ( $n = 7$ ) häufig und 48,7% ( $n = 20$ ) gelegentlich auftretende Ruheschmerzen an. Zehn Patienten (24,4%) waren in Ruhe nach einem Jahr bereits schmerzfrei. Unter Belastung traten zu diesem Zeitpunkt bei 29,2% von 41 erfassten Patienten ( $n = 12$ ) immer, bei 26,8% ( $n = 11$ ) häufig, bei 31,7% ( $n = 13$ ) gelegentlich und bei 12,1% ( $n = 5$ ) nie Schmerzen auf. Nach durchschnittlich 32 Monaten betrug der Anteil der Patienten mit ständig bzw. häufig auftretenden Ruheschmerzen noch jeweils 4,8% ( $n = 2$ ), der Anteil mit gelegentlichen Beschwerden in Ruhe lag bei 48,6% ( $n = 20$ ) und 17 Patienten (41,4%) hatten in Ruhe keine Schmerzen. Belastungsabhängige Schmerzen wurden zur letzten Nachuntersuchung von vier Patienten (9,7%) immer, von zehn Patienten häufig (24,4%), von 20 Patienten (48,8%) gelegentlich und von acht Patienten (19,5%) nie verspürt. an. Insgesamt 90% der Patienten verspürten somit in Ruhe keine oder nur gelegentlich auftretende Schmerzen und 68,3% der Patienten nie oder gelegentlich auftretende Schmerzen unter Belastung.

Es muss einschränkend gesagt werden, dass eine große Zahl der polytraumatisierten Patienten mit zusätzlichen Verletzungen an den unteren Extremitäten häufig Schwierigkeiten bei der Differenzierung der Schmerzlokalisierung in den Beinen hatten.

In der Gruppe mit additiver Plattenapplikation (Gruppe1,  $n = 21$ ) lag der Durchschnittswert zur ersten Nachuntersuchung für die im Rücken lokalisierten Schmerzen bei 40,5 (Stabw.: 22,4) und in der Gruppe 2 ohne zusätzliche Platte ( $n = 20$ ) bei 36,5 (Stabw.: 26,8). Dieser Wert fiel bis zur letzten Nachuntersuchung auf 25,2 (Stabw.: 22,9) ab, gegenüber einem Schmerzurückgang auf 28,5 (Stabw.: 22,3) in der Gruppe 2 ( $p < 0,001$ ). Auch der Ausgangswert der Schmerzen in Gesäß und in den Beinen lag in der Gruppe

1 etwas höher als in der Vergleichsgruppe. Jedoch war ein deutlicher Unterschied im Rückgang der Schmerzen zwischen den beiden Gruppen erkennbar. Die im Gesäß lokalisierten Schmerzen sanken in der Gruppe 1 von 20,9 (Stabw.: 29,9) auf 9,5 (Stabw.: 17,7) gegenüber einer Verringerung von 11,5 (Stabw.: 22,5) auf 8 (Stabw.: 14,7) in der Gruppe 2, die Beinschmerzen verringerten sich in der Gruppe 1 von 15,2 (Stabw.: 26,7) auf 9,6 (Stabw.: 18,2) und der Gruppe 2 von 7,5 (Stabw.: 20,7) auf 5,6 (Stabw.: 13). Diese Unterschiede erreichten nicht das Niveau statistischer Signifikanz (Tab.24, 25).

Die Patienten wurden weiterhin nach der Entwicklung der Schmerzen im Bezug auf die vorangegangene Nachuntersuchung befragt. Zur Beantwortung waren die Möglichkeiten „schlechter“, „keine Veränderung“, „besser“ und „schmerzfrei“ vorgegeben. Auch hierzu liegen durchgehende Angaben von insgesamt 41 Patienten zu beiden Nachuntersuchungszeitpunkten vor. Nach durchschnittlich zwölf Monaten antworteten vier Patienten (9,7%), die Schmerzen hätten seit der letzten Untersuchung zugenommen, zehn Patienten (24,3%) gaben an, es sei zu keiner Veränderungen bezüglich der Schmerzen gekommen, 25 Patienten (60,9%) berichteten von einer Verbesserung und zwei Patienten (4,8%) waren schmerzfrei. Nach weiteren 24 Monaten berichteten erneut vier Patienten (9,7%) von einer Verschlechterung, unter denen sich zwei Patienten befanden, die bereits bei der vorangegangenen Untersuchung eine Zunahme der Schmerzen beklagten, 14 Patienten (34,1%) verspürten keine Veränderungen, bei 19 Patienten (46,3%) war es zu einer Besserung ihres Zustandes gekommen und vier Patienten (9,7%) gaben an, keine unfall- bzw. behandlungsbedingten Schmerzen mehr zu verspüren.

Diesbezüglich ergab der Vergleich zwischen den Gruppen 1 und 2 mit durchgehend dokumentierten Angaben von jeweils 21 und 20 Patienten eine Zunahme der Schmerzen bei jeweils zwei Patienten in beiden Gruppen (Gruppe 1: 9,5%, Gruppe 2: 10%). Von diesen berichtete jeweils ein Patient in beiden Nachuntersuchungen von einer Verschlechterung seines Zustandes. Für vier Patienten (19,2%) der Gruppe 1 waren die schmerzbedingten Beschwerden im Vergleich zum Entlassungszeitpunkt unverändert, gegenüber sechs Fällen (30%) in der Gruppe 2. 14 Patienten (66,5%) der Gruppe 1 und elf Patienten (55%) der Gruppe 2 berichteten von einer Abnahme ihrer Schmerzen. Jeweils ein Patient (Gruppe 1: 4,8%, Gruppe 2: 5%) gab völlige Schmerzfreiheit an.

Zur zweiten Nachuntersuchung lag der Anteil der Patienten mit unveränderter Schmerzsymptomatik in der Gruppe 1 bei 33,3% (n = 7) und in der Gruppe 2 bei 45% (n = 9). Eine Verbesserung gaben 47,7% der Patienten (n = 10) der Gruppe 1 und 45% (n



= 9) der Gruppe 2 an. Schmerzfreiheit wurde für jeweils 14,3% (n = 3) und 5% (n = 1) dokumentiert (Tab.26, 27).

Gruppe 1 (n = 21)	Schmerzintensität Rücken	Schmerzintensität Gesäß	Schmerzintensität Beine
NU 1 (Ø 12 Monate)	40,5 (Stabw. 22,4)	20,9 (Stabw. 29,9)	15,2 (Stabw. 26,7)
NU 2 (Ø 32 Monate)	25,2 (Stabw. 22,9)	9,5 (Stabw. 17,7)	9,6 (Stabw. 18,2)

Tab.24: Schmerzintensität in der Gruppe 1 auf visueller Analogskala (VAS) 0-100 (Standardabweichung) in Rücken, Gesäß und Beinen zu den Nachuntersuchungen (Ø 12 und 32

Gruppe 2 (n = 20)	Schmerzintensität Rücken	Schmerzintensität Gesäß	Schmerzintensität Beine
NU 1 (Ø 12 Monate)	36,5 (Stabw. 26,8)	11,5 (Stabw. 22,5)	7,5 (Stabw. 20,7)
NU 2 (Ø 32 Monate)	28,5 (Stabw. 22,3)	8 (Stabw. 14,7)	5,6 (Stabw. 13)

Tab.25: Schmerzintensität in der Gruppe 2 auf visueller Analogskala (VAS) 0-100 (Standardabweichung) in Rücken, Gesäß und Beinen zu den Nachuntersuchungen (Ø 12 und 32

Gruppe 1 (n = 21)	Sz.-Entwicklung „schmerzfrei“	Sz.-Entwicklung „besser“	Sz.-Entwicklung „keine Veränderung“	Sz.-Entwicklung „schlechter“
NU 1 (Ø 12 Mo)	1 (4,8%)	14 (66,5%)	4 (19,2%)	2 (9,5%)
NU 2 (Ø 32 Mo)	3 (14,3%)	10 (47,7%)	7 (33,3%)	1 (4,7%)

Tab.26: Schmerzentwicklung in der Gruppe 1 zu den Nachuntersuchungen (Ø 12 und 32 Monate)

Gruppe 2 (n = 20)	Sz.-Entwicklung „schmerzfrei“	Sz.-Entwicklung „besser“	Sz.-Entwicklung „keine Veränderung“	Sz.-Entwicklung „schlechter“
NU1 (Ø 12 Mo)	1 (5%)	11 (55%)	6 (30%)	2 (10%)
NU2 (Ø 32 Mo)	1 (5%)	9 (45%)	9 (45%)	1 (5%)

Tab.27: Schmerzentwicklung in der Gruppe 2 zu den Nachuntersuchungen (Ø 12 und 32 Monate)

## 4 Diskussion

### 4.1 Ergebnisse und Merkmale der Studie im Kontext einer kontrovers geführten Diskussion zur operativen Versorgung von Wirbelsäulenverletzungen

Bei der Frage nach der optimalen Behandlung instabiler thorakolumbalen Wirbelsäulenverletzungen besteht ein Konsens hinsichtlich der Notwendigkeit einer operativen Versorgung [3, 24, 27, 85, 125, 126]. Über die zahlreichen verschiedenen Behandlungskonzepte, welche im Verlauf der letzten Jahrzehnte entwickelt wurden, wird nach wie vor kontrovers diskutiert [3, 4, 20, 22, 24, 27, 32, 34, 35, 39, 56, 58, 59, 61, 62, 63, 70, 85, 87, 110, 114, 125]. Inhaltlich geht es in dieser Diskussion unter anderem um die Frage, ob instabile Wirbelsäulenverletzungen einer ausschließlich dorsalen bzw. ventralen oder einer kombinierten dorso-ventralen Versorgung zugeführt werden sollten [20, 22, 32, 34, 35, 50, 56, 58, 59, 61, 62, 63, 66, 69, 93, 114, 127, 128]. Zahlreiche Autoren favorisieren das kombinierte Vorgehen aufgrund der besseren experimentellen und radiologischen Studienlage [36, 56, 62, 63, 70, 114, 112, 127, 128]. Ein Argument ist die biomechanisch nachgewiesene hohe Primärstabilität, welche im Rahmen der dorso-ventralen Instrumentierung erreicht wird [16, 36, 39, 110, 129]. In den letzten Jahren kamen dabei mit zunehmender Häufigkeit die von ventral eingebrachten Wirbelkörperersatz-Cages anstelle des klassischerweise als Platzhalter für den korporektomierten Wirbelkörper eingebolzten, trikortikalen Beckenkammspans zum Einsatz [27, 36, 51, 112, 130]. Durch die zusätzliche Instrumentierung mit einem ventralen Plattensystem lässt sich die Primärstabilität bei diesem Eingriff weiter erhöhen [36, 37]. Ziel der vorliegenden Arbeit war es, im Rahmen einer prospektiv angelegten klinisch-radiologischen Studie offene Fragen zu dem langfristigen Nutzen von additiven ventralen Plattensystemen zu untersuchen. Lässt sich durch den Einsatz additiver ventraler Platten der postoperative Korrekturverlust verringern? Führt die erhöhte Primärstabilität zu einem besseren Fusionsergebnis oder aufgrund des so genannten „stress shielding“-Effektes zu einem verzögerten Heilungsverlauf? Nimmt das Design der Platte Einfluss auf den knöchernen Heilungsverlauf?

Im Rahmen einer klinisch-radiologischen Langzeituntersuchung wurden aus einem Gesamtkollektiv von 75 Patienten, die aufgrund traumatisch bedingter instabiler thorakolumbalen Wirbelsäulenverletzungen im Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie der Charité (Berlin) einer kombinierten Versorgung mit Implantation eines Korporektomie-Cage zugeführt wurden, eine Gruppe mit und eine Gruppe ohne zusätzliche ventrale Platte

gebildet und miteinander verglichen. Bei einem Nachuntersuchungszeitraum von durchschnittlich 32 Monaten wurde eine Nachuntersuchungsrate von 88% (66 Patienten) erreicht. Es zeigte sich in der Gruppe mit zusätzlicher ventraler Instrumentierung trotz eines nur unwesentlich geringeren Korrekturverlustes und einem vergleichbarem klinischen Nachuntersuchungsergebnis gegenüber der Vergleichsgruppe eine signifikant höhere und beschleunigte knöcherner Fusionsrate.

Hervorzuheben ist, dass trotz der strengen Einschlusskriterien aufgrund der speziellen Fragestellung nach dem Nutzen eines additiven ventralen Plattensystems, in der vorliegenden Studie eine Gesamtfallzahl von 75 Patienten eingeschlossen werden konnte. Hinsichtlich der operativen Behandlung entstand ein relativ homogenes Patientengut, in dem jeder Patient das gleiche dorsale Implantat (Universal Spine System, Fa. Synthes, Solothurn, Schweiz) und den gleichen Korporektomie-Cage (VBR, Fa. Ulrich, Ulm, Deutschland) erhielt und das einzige Unterscheidungsmerkmal der Einsatz eines der beiden ventralen Plattensysteme (Wirbelsäulenplatte „St. Georg“ Fa. Waldemar Link, Hamburg, Deutschland bzw. LC-Platte, Fa. Synthes, Solthurn, Schweiz) darstellte. In der Literatur wird nach Kenntnis des Autors keine Studie mit einer vergleichbaren Fragestellung angegeben. Die meisten Studien zum klinisch-radiologischen Behandlungsergebnis nach kombinierter dorso-ventraler Versorgung mit einer vergleichbaren Fallzahl umfassen ein Patientengut, in welchem sowohl beim dorsalen als auch beim ventralen Eingriff mehrere unterschiedliche Implantate zum Einsatz kamen. So berichten Stoltze und Harms [114] von einem Kollektiv von 56 Patienten aus dem Zeitraum von 1980 bis 1995 mit insgesamt drei dorsalen und vier ventralen Implantaten. Eine Studie von Been [56] mit 54 Patienten führt drei dorsale und zwei ventrale Implantate auf. In der Gruppe der kombiniert versorgten Patienten (n = 197), von der Knop et al. [51] in einer großen Multicenter-Studie der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU) berichten, wurden je drei verschiedene dorsale und ventrale Implantate verwendet. Es liegt auf der Hand, dass sich die technische Weiterentwicklung und Vermarktung neuer Implantate auch in den Patientenkollektiven insbesondere der retrospektiv angelegten Studien widerspiegeln. Allerdings besteht dabei die Möglichkeit des Verkennens eventuell vorhandener biomechanischer Unterschiede zwischen den einzelnen Implantaten, wodurch Aussagekraft und Vergleichbarkeit der Studienergebnisse abgeschwächt werden. Homogenität bezüglich der angewendeten Implantate kann also nur von Nutzen sein. Vieweg [112] berichtet in einer retrospektiven Studie von 30 Patienten, die alle mit einem Fixateur interne und dem gleichen expandierbaren Wirbelkörperer-

satzsystem mit additiver ventraler Instrumentierung in drei Fällen versorgt wurden. Die Alters- und Geschlechtsverteilung der vorliegenden Studie weist keine Unterschiede zu den Ergebnissen der 682 Patienten einschließenden Studie von Knop et al. [24] und anderen Untersuchungen auf [4, 26, 50, 58, 124, 132]. Als häufigste Verletzungsursache wird von diesen Autoren mit 50-61% der Sturz aus großer bzw. größerer Höhe aufgeführt, gefolgt von den Verkehrsunfällen mit 15-22%. Diesbezüglich weisen die vorliegenden Daten eine gute Vergleichbarkeit auf. Knop et al. [24, 58] geben als weitere Unfallursache für Patienten mit einem signifikant höheren Durchschnittsalter den „banalen Sturz“ mit einer Häufigkeit von 7-14% an. Ein solcher Zusammenhang ließ sich an dem vorliegenden Patientengut nicht nachvollziehen, zumal die Unfallursache eines banalen Sturzes nur bei einem Patienten mit einer schwer nachvollziehbaren Unfallanamnese dokumentiert war. Stattdessen wurde bei 9,1% als Unfallursache der Sturz auf einer Treppe gesondert aufgeführt. Einige Autoren berichten von einem umgekehrten Verhältnis zwischen der Häufigkeit von Stürzen aus großer Höhe und den Verkehrsunfällen als häufigste Unfallursache [85, 124, 131]. Am häufigsten betroffen waren die Wirbelkörper des thorakolumbalen Überganges (BWK1 und LWK1) sowie der zweite Lendenwirbelkörper. Hierin zeigen die vorliegenden Daten eine Übereinstimmung mit anderen Studien an großen Patientenkollektiven [4, 9, 24, 27].

In einer systematischen Metaanalyse von 132 Veröffentlichungen zur operativen Versorgung traumatischer thorakolumbalen Wirbelsäulenverletzungen bestimmten Verlaan et al. [125] das Durchschnittsalter der 5748 eingeschlossenen Patienten mit 33-34 Jahren. Das Durchschnittsalter der vorliegenden Studie liegt mit 41 Jahren [17-76] deutlich darüber. Als mögliche Ursache hierfür kann ein Einwand, der von Verlaan et al. gegenüber allen Studien zu verschiedenen operativen Verfahren bei Wirbelsäulenverletzungen angebracht wird, geltend gemacht werden: durch die fehlende Randomisierung der Patienten entstehen in den einzelnen Behandlungsgruppen (dorsale, ventrale, kombiniert dorso-ventrale Versorgung) Patientenkollektive mit uneinheitlichen präoperativen Merkmalen, die eine Vergleichbarkeit der Gruppen miteinander erschweren.

Besonders deutlich fällt diese Inhomogenität bei der Verteilung des Verletzungsausmaßes, respektive der Verletzungsklassifikation in den einzelnen Behandlungsgruppen auf. Mit zunehmender Komplexität der Verletzung steigen auch die operativen Anforderungen, um eine möglichst hohe Primärstabilität zu erreichen. So liegt bei Knop et al. [51] der Anteil der A-, B- und C-Verletzungen in der Gruppe der dorsal versorgten Patienten bei 65,8%, 20,8% und 12,9% und in der Gruppe mit kombinierter dorso-

ventraler Versorgung bei 56,9%, 20,3% und 22,3%. Der noch höhere Anteil schwerer B- oder C-Verletzungen im vorliegenden Kollektiv (40,3%, 38,8%, 20,9%) erklärt sich zum einen dadurch, dass die Indikation für einen Korporektomie-Cage im Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie der Charité (Berlin) nur bei schwerer Destruktion des Wirbelkörpers im Sinne einer Berstungsspalt- oder einer kompletten Berstungsfraktur gestellt wird. Ein weiterer Grund, weshalb insbesondere der Anteil der B-Verletzungen in der vorliegenden Untersuchung mit 38,8% deutlich höher liegt als bei Knop et al. kann mit der Schwierigkeit des richtigen Erkennens einer B-Verletzung zusammen hängen, die definiert wird durch die Mitverletzung des dorsalen Anteils der Wirbelsäule. Dorsale ligamentäre Verletzungen sind auf Röntgen- und computertomographischen Aufnahmen mitunter nur schwer zu erkennen.

Aus diesem Grund wurden alle präoperativen Bilder retrospektiv von zwei unabhängigen Untersuchern bis auf die dritte alphanumerische Stelle in der Einteilung von Wirbelsäulenverletzungen nach Magerl [9] klassifiziert. Dabei wurde der Frage nach Verletzung dorsaler Strukturen bei ventralen Berstungsfrakturen besonders berücksichtigt.

## **4.2 Die Beurteilung thorakolumbalen Wirbelsäulenverletzungen, deren operative Behandlung und ihr Heilungsverlauf im herkömmlichen Röntgenbild und in computertomographischen Aufnahmen**

### *4.2.1 Präoperative radiologische Diagnostik, Therapieplanung und radiologische Verlaufskontrolle*

Zur Beurteilung des Ausmaßes der Wirbelkörperdeformierung und der Achsenabweichung des verletzten Wirbelsäulenabschnittes eignet sich die Bestimmung verschiedener Winkel bzw. Indices auf herkömmlichen Röntgenbildern im seitlichen und anteroposterioren Strahlengang [8, 27, 119, 134, 135]. Folgende Messwerte haben sich bewährt:

- Grund-Deckplatten-Winkel (nach Cobb)
- Körperwinkel
- Sagittaler Index
- Sagittalverschiebung
- Cobb-Winkel

Anhand des Grund-Deckplatten-Winkels lässt sich im sagittalen Wirbelsäulenprofil sowohl präoperativ die segmentale Fehlstellung als auch die operative Korrektur und der

postoperative Korrekturverlust bestimmen. Nach der Erfahrung von Blauth et al. [27] und Knop [51] eignet sich dieser Winkel am besten für Verlaufsbeobachtungen. Körperwinkel, sagittaler Index und die Sagittalverschiebung geben dem Untersucher wertvolle Informationen über die posttraumatische Deformierung der betroffenen Wirbelkörper und das Ausmaß der Schädigung der angrenzenden Bandscheibenfächer, verlieren aber bei einem korporektomierten Patientengut postoperativ ihre Aussagekraft.

Zur Bestimmung der skoliotischen Fehlstellung des Wirbelsäulenprofils im anteroposterioren Strahlengang stellt der Cobb-Winkel eine bewährte Messmethode dar. In der Beschreibung des radiologischen Behandlungsverlaufs von thorakolumbalen Wirbelsäulenverletzungen wird diese allerdings nur selten berücksichtigt [51]. Die Auswertung der Ergebnisse der vorliegenden Studie bezüglich der postoperativen Veränderungen des Cobb-Winkels wird sich auf den Vergleich mit den Ergebnissen der Arbeit von Knop et al. [51] beschränken müssen.

Ein weiteres Problem bei der Vermessung von Röntgenbildern ist das des inter- und intraindividuellen Messfehlers [51, 70, 134, 135, 136, 137]. In der Literatur wurde der Bestimmung der Kyphose thorakolumbalen Wirbelsäulenverletzungen mit dem Grund-Deckplatten-Winkel (nach Cobb) die höchste Reliabilität und damit Vergleichbarkeit unter den verschiedenen angewandten Methoden der Vermessung nachgewiesen [135, 136, 137]. Knop et al. [51, 70] bestimmten den Messfehler mit 2°. Den radiologischen Ergebnissen der vorliegenden Studie wurde ein Messfehler von 3° zugrunde gelegt.

Der hohe Stellenwert der Computertomographie für die präoperative radiologische Diagnostik und das therapeutische Vorgehen bei thorakolumbalen Wirbelsäulenverletzungen ist heutzutage unumstritten. Während ein konventionelles Röntgenbild immer als Summationsbild aller durchstrahlten Strukturen auf einer Ebene anzusehen ist, lassen sich durch die Erzeugung von Schichtbildern wesentlich genauere morphologische Differenzierungen ermöglichen. Im Falle der Wirbelsäule können insbesondere die Wirbelkörperhinterkante und der dorsale knöcherne und ligamentäre Apparat dargestellt werden, was zu einer erhöhten Sensitivität in der Erkennung von instabilen Verletzungen führt [9, 121, 122, 123]. Nur mit den hieraus gewonnenen Informationen kann die Verletzung eindeutig klassifiziert und einer adäquaten Therapie zugeführt werden.

#### *4.2.2 Radiologischer Verlauf: Korrektur und Korrekturverlust*

Der hohe Anteil an schweren Verletzungen unter den in diese Studie einbezogenen Patienten sollte sich erwartungsgemäß auch am Wert des präoperativen Grund-

Deckplatten-Winkels nachvollziehen lassen. Dieser betrug im Gesamtkollektiv durchschnittlich  $13,4^\circ$  ohne signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen 1 und 2 ( $14,2^\circ$  und  $12,4^\circ$ ) und beim Vergleich der Patienten mit bzw. ohne zusätzliche Instrumentierung in den Untergruppen (A-, B-, C-Verletzungen, Verletzungen der Brust- und Lendenwirbelsäule). Die Brustwirbelsäule war mit  $23,2^\circ$  signifikant stärker deformiert als die Lendenwirbelsäule mit  $8,4^\circ$  ( $p < 0,0001$ ). Die präoperative segmentale Fehlstellung lag damit in der vorliegenden Studie niedriger als in vergleichbaren Untersuchungen. Verlaan [125] berichtet von einem durchschnittlichen Grund-Deckplatten-Winkel von  $17,5^\circ$  in der Gruppe der kombiniert versorgten Patienten, Knop [51] von  $16,8^\circ$ , Payer [130] von  $16^\circ$ , sowie Schnee [128], Been [153] und Danisa [131] gar von  $18,3^\circ$ ,  $23^\circ$  und  $26^\circ$ . Als Erklärung könnte hierfür die im Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie der Charité (Berlin) gängige Praxis der Lordosierung mittels eines Gelkissens im Rahmen der präoperativen Röntgendiagnostik bei Patienten, die mit dem klinischen Verdacht einer thorakolumbalen Wirbelsäulenverletzung in der unfallchirurgischen Rettungsstelle aufgenommen werden, dienen. Die Platzierung eines solchen Gelkissens unter der Lendenwirbelsäule des betroffenen Patienten, kann zu einer Aufrichtung des frakturierten Wirbelkörpers und damit zu einer Dekompression des Spinalkanals über das ligamentotaxische Prinzip [27, 49] führen. Die frühzeitige Entlastung des Myelons stellt in diesen Fällen ein vorrangiges Behandlungsziel dar, vor dem die exakte röntgenologische Darstellung des Grund-Deckplatten-Winkels zurücksteht.

Vergleicht man den Wert der operativen Korrektur, so fällt dieser im vorliegenden Patientenkollektiv ebenfalls niedriger aus als in den Literaturangaben, was sich durch den niedrigeren präoperativen Grund-Deckplatten-Winkel erklären lässt. Der durchschnittlichen operativen Korrektur von  $11,2^\circ$  in dieser Untersuchung stehen in den Gruppen der kombiniert versorgten Patienten bei Verlaan [125]  $14,1^\circ$ , bei Knop et al. [70]  $13,8^\circ$  und bei Danisa [131], Schnee [128] und Payer [130] jeweils  $14^\circ$ ,  $17,3^\circ$  und  $18^\circ$  gegenüber. Der durch die operative Aufrichtung des verletzten Wirbelsäulensegments erreichte Grund-Deckplatten-Winkel lässt sich gut mit den Ergebnissen der Arbeiten von Knop et al. [51] und Verlaan [125] vergleichen. Im Durchschnitt wurde das Wirbelsäulenprofil hier in einer Stellung von  $2,8^\circ$  Lordose reponiert und fixiert gegenüber  $3^\circ$  und  $3,4^\circ$  Lordose in den kombinierten Gruppen bei Knop et al. [51] und Verlaan [125]. Auch Payer [130], Eysel [22] und Schnee [128] berichten mit  $2^\circ$  (Lordose),  $0,9^\circ$  (Kyphose) und  $1^\circ$  (Kyphose) von vergleichbaren Korrekturergebnissen. Dahingegen weichen die Angaben anderer Autoren von diesen Werten zum Teil deutlich ab. So liegen die Repositionser-

gebnisse bei Blauth [85], Been [153] und Danisa [131] bei 11°, bzw. 12° Kyphose. Während Been, Danisa und andere Autoren in ihren Arbeiten nicht auf die exakte Verteilung der Verletzungen auf die einzelnen Wirbelkörper eingehen, unterscheiden Blauth [85] und Knop [51] die Ergebnisse des radiologischen Verlaufs jeweils gesondert für Brust- und Lendenwirbelsäule sowie den thorakolumbalen Übergang. Diese getrennte Auswertung dient der besseren Vergleichbarkeit des Operationsergebnisses mit den physiologischen Winkelmaßen in den betroffenen Wirbelsäulenabschnitten. Betrachtet man nun die regionalen postoperativen Grund-Deckplatten-Winkel der vorliegenden Untersuchung mit denen von Blauth [85], so lassen sich trotz der differenten Ergebnisse in den Gesamtkollektiven vergleichbare Repositionsergebnisse bei der gesonderten Betrachtung von Brust- und Lendenwirbelsäule erkennen. Diese liegen im vorliegenden Kollektiv für die Brustwirbelsäule bei 11,9° gegenüber 9° Kyphose bei Blauth [85] und für die Lendenwirbelsäule bei 11,1° gegenüber 11° Lordose.

Aufgrund der großen interindividuellen Unterschiede bei der Analyse des physiologischen seitlichen Profils der gesunden Wirbelsäule warnen Bernhardt [154] und Stagnara [119] vor der Verwendung von Durchschnittswerten für die Beschreibung der Kyphose, bzw. Lordose von Brust- und Lendenwirbelsäule und empfehlen für diesen Zweck die Angabe von „normalen“ Messbereichen. Zwar handelt es sich bei der Beschreibung von Wirbelsäulenverletzungen in der Regel um Veränderungen von Winkelwerten auf segmentaler Ebene, doch lässt sich nach Ansicht des Autors die Empfehlung Bernhardts insofern übernehmen, als dass eine getrennte Beschreibung des Grund-Deckplatten-Winkels für thorakale und lumbale Wirbelsäulenverletzungen dem Zweck einer besseren Vergleichbarkeit von Studienergebnissen dient.

Eines der oben aufgeführten Ziele in der Behandlung von Wirbelsäulenverletzungen ist die Herstellung einer dauerhaften Stabilität und Belastbarkeit des versorgten Wirbelsäulenabschnittes unter Vermeidung eines postoperativen Korrekturverlustes. Gelingt es heutzutage, mithilfe moderner winkelstabiler Implantate eine hohe Primärstabilität herzustellen, so konnte dennoch durch keine Operationstechnik die operativ erreichte Korrektur auf Dauer gehalten werden [70, 125]. Die Beobachtungen von Stoltze und Harms [114], wonach sich die größten Verluste „entsprechend des plastischen Verhaltens des Knochens im ersten Jahr“ fanden, werden sowohl durch die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung als auch durch andere Autoren bestätigt [22, 36, 52, 61, 132, 154]. Es scheint, als erreiche das operativ versorgte Segment erst ab einem gewissen Grad der knöchernen Fusion seine endgültige Stabilität. Bis zu diesem Punkt muss sowohl



mit dem Nachgehen des ganzen Segmentes im Sinne einer Rekyphosierung als auch dem Einsintern ventral eingebrachter abstützender Implantate gerechnet werden. Beim Vergleich dorsaler, ventraler und kombiniert dorso-ventraler Operationsverfahren erzielten bei Knop et al. [70] die kombinierte Gruppe mit durchschnittlich 8,0° und bei Verlaan [125] die ventrale Gruppe mit 3,0° Korrekturverlust die besten Langzeitergebnisse (Nachuntersuchungsraten: Ø 28 und mindestens zwölf Monate). In diesem Messbereich liegen auch die von weiteren Autoren radiologischer Studien mit Langzeitergebnissen (22 Monate – 6,7 Jahre) zitierten Korrekturverluste [35, 50, 52, 85, 93, 114, 131, 132, 150]. Bei einer sich insgesamt über den Verlauf der letzten zwei Jahrzehnte abzeichnenden Verringerung der Rekyphosierung lassen sich in diesen durchweg retrospektiven Arbeiten keine eindeutigen Vorteile einer bestimmten Operationstechnik erkennen. Die Bevorzugung der unterschiedlichen Techniken in den verschiedenen Einrichtungen führt Verlaan [125] auf den Mangel evidenzbasierter Richtlinien zur Versorgung von thorakolumbalen Wirbelsäulenverletzungen zurück.

#### *4.2.3 Radiologischer Verlauf: Beurteilung des Sinterungs- und Migrationsverhaltens von Wirbelkörperersatzsystemen im Röntgenbild*

Sowohl beim Einsatz so genannter Diskektomie-Cages, welche zur Behandlung von degenerativen Bandscheibenerkrankungen mit Radikulopathien vor allem an der Hals- und Lendenwirbelsäule nach Resektion der Bandscheibe in den Zwischenwirbelraum eingebracht werden, als auch der oben besprochenen Wirbelkörperersatzsysteme ließ sich bislang ein Einsinken der Implantate in die angrenzenden Wirbelkörper vor allem während der ersten zwölf Monate des postoperativen Verlaufs nicht verhindern [36, 127, 140, 143-146, 148]. Weitere unerwünschte Formen der Dislokation stellen die im vorliegenden Kollektiv häufig beobachteten Kippungen der Cages in der sagittalen und frontalen Ebene dar. Es ist davon auszugehen, dass durch das Einsinken des Implantats in der frühen postoperativen Phase ein Verlust der Vorspannung innerhalb des stabilisierten Bewegungssegmentes und dadurch eine Abnahme der Primärstabilität mit einer erhöhten Belastung der anderen lastübertragenden Strukturen, insbesondere des dorsalen Fixateurs interne resultiert [79]. Das Sinterungsverhalten wurde weitaus häufiger in experimentellen und radiologischen Studien zu den Diskektomie-Cages als den Wirbelkörperersatzsystemen untersucht. Trotz der grundsätzlichen Unterschiede bezüglich der Indikationen für diese Implantate und der Operationstechniken bestehen Gemeinsamkeiten zum Beispiel bei der Frage nach den Ursachen für das Sinterungsver-

halten oder der Methodik der radiologischen Quantifizierung.

Barsa [140] und Schmieder [145] konnten für die Diskektomie-Cages einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Ausmaß der Cage-Sinterung und dem postoperativen Korrekturverlust nachweisen, nicht jedoch zwischen der Sinterung und dem postoperativen knöchernen Fusionsergebnis oder dem klinischen Nachuntersuchungsergebnis. Diese Aussage deckt sich mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie.

Während die Einsinktiefen der Implantate in die angrenzenden Wirbelkörper in experimentellen Studien problemlos an Markierungen der Implantate ablesbar ist, ergibt sich bei der radiologischen Verlaufsbeobachtung für den Betrachter diesbezüglich ein Problem. Die Angabe des Sinterungsergebnisses als absolute Zahl mit einer Einheit, zum Beispiel mm, erscheint nur unter der Voraussetzung eines immer gleichen Film-Fokus-Abstandes in den seriellen Aufnahmen sinnvoll. Variierende Film-Fokus-Abstände würden zu unterschiedlich großen Ablichtungen des fotografierten Wirbelsäulenabschnittes auf den Röntgenplatten und damit zu einem Verlust der Vergleichbarkeit der Sinterungsergebnisse führen. Es erscheint nahe liegend, dass sich diese Voraussetzung trotz aller Bemühungen um standardisierte Aufnahmebedingungen bei einem Kollektiv mit immobilisierten oder auf einen Rollstuhl bzw. auf Gehhilfen angewiesenen Patienten nicht immer erfüllen lässt. Dennoch wird die Sinterungstiefe sowohl für Korporektomie-Cages als auch für Diskektomie-Cages in radiologischen Studien ohne Berücksichtigung dieses Problems regelmäßig in der Einheit mm angegeben und als Wert  $\geq 2$  mm definiert [36, 127, 140, 144, 146, 149, 150].

Mit dem Ziel einer Reliabilitätserhöhung der Sinterungsergebnisse wurde beim vorliegenden Patientenkollektiv eine Messmethode angewendet, die sich aus dem Verhältnis der Abstände zwischen den Mittelpunkten der Grund- bzw. Deckplatten der angrenzenden intakten Wirbelkörpern und der Länge der Hinterkante des Korporektomie-Cages herleitet und somit unabhängig vom Film-Fokus-Abstand ist. Unter der Annahme, dass im frühen postoperativen Verlauf das Einsinken des Korporektomie-Cages und der Korrekturverlust des gesamten Segmentes miteinander zusammenhängen, lässt sich das Sinterungsverhalten des Implantats durch die Dokumentation dieses dimensionslosen Wertes sowohl intraindividuell nachvollziehen als auch mit den Ergebnissen anderer Patienten vergleichen. Neben dem Nachteil der fehlenden direkten Vergleichbarkeit der vorliegenden Sinterungsergebnisse mit anderen Studien sollte erwähnt sein, dass sich allein mit der hier beschriebenen Messmethode nicht bestimmen lässt, ob der Korporektomie-Cage in den kranialen oder den kaudalen Wirbelkörper eingesintert ist.

In der vorliegenden Arbeit wurde des Weiteren neben der Bestimmung der Implantat-sinterung durch die Vermessung der Cage-Kippung in der sagittalen und der frontalen Ebene eine sehr genaue Beschreibung des Sinterungsverhaltens des Korporektomie-Cages ermöglicht.

#### *4.2.4 Vergleich der vorliegenden Ergebnisse mit weiteren Studien an Korporektomie-Cage-Kollektiven: Korrekturverlust und Sinterung*

Es liegen nur wenige Studien zu den radiologischen Verlaufsbeobachtungen von Wirbelkörperersatzsystemen [114, 117, 150, 156] und hierunter insbesondere den expandierbaren Ausführungen vor [36, 112, 130]. Unter diesen beträgt der Nachuntersuchungszeitraum bei Stoltze [114] und Robertson [148] durchschnittlich zwölf, bei Vieweg [112] vierzehn, bei Payer [130], Karaeminogullari [149] und Eck [142, 155] 24 und bei Kandziora [36] 26 Monate. Die Arbeiten von Robertson und Kandziora berücksichtigen neben Patienten mit traumatischen Wirbelsäulenverletzungen auch solche, die aufgrund von Spondylodiscitiden, malignen Grunderkrankungen der Wirbelsäule bzw. knöchernen Fernmetastasen oder Osteomyelositiden mit einem Korporektomie-Cage versorgt wurden. Kandziora führt die klinischen und radiologischen Ergebnisse für jede der Indikationen gesondert auf. Die niedrigsten Korrekturverluste werden von Vieweg [112] mit durchschnittlich  $1,6^\circ$  und Stoltze [114] mit unter  $2^\circ$  und die höchsten von Karaeminogullari [149] mit  $4^\circ$  angegeben. Payer [130] berichtet von durchschnittlich  $2^\circ$  Rekyphosierung, Robertson [148] von  $3^\circ$  und Eck [142, 155] ebenfalls von  $2^\circ$ . Sowohl im Vergleich mit Studien zu dorsalen oder ventralen Operationstechniken als auch mit den zitierten Arbeiten zur kombinierten Versorgung unter Einsatz eines ventralen Korporektomie-Cages stellt der durchschnittliche Korrekturverlust von  $2,6^\circ$  in der vorliegenden Untersuchung ein gutes Ergebnis dar. Dieser lag mit  $2^\circ$  zu einem deutlich größeren Teil im ersten Nachuntersuchungsjahr, weitere  $0,6^\circ$  Verlust wurden bis zur zweiten Nachuntersuchung ( $\bar{x}$  32 Monate) registriert. In der Gruppe mit einem additiven ventralen Plattensystem betrug der Korrekturverlust  $2,3^\circ$  und lag damit etwas niedriger als in der Gruppe ohne zusätzliche Platte mit  $3^\circ$ . Der Unterschied war nicht signifikant. Eine zusätzliche ventrale Instrumentierung wird zwar auch in den Arbeiten von Vieweg [112] und Robertson [148] dokumentiert, jedoch kam es hierbei nicht zur gesonderten Aufführung der radiologischen Verlaufsergebnissen in diesen Gruppen.

Bedauerlicherweise wurde die Cage-Sinterung von den oben erwähnten Autoren als Lageänderung der Implantate auf seitlichen Röntgenaufnahmen in mm vermessen, wo-

durch sich die Ergebnisse dieser Arbeiten dem direkten Vergleich mit denen der vorliegenden Untersuchung entziehen (siehe 4.2.3.). Es bleibt lediglich festzustellen, dass das Einsinken der Korporektomie-Cages, auch der expandierbaren Modelle, bislang nicht verhindert werden konnte. Ob sich die biomechanischen Vorteile der in jüngerer Zeit entwickelten expandierbaren Ausführungen [36,79] gegenüber den älteren so genannten Titanium-Mesh-Cages nach Harms [114,150] auch im radiologischen Verlauf zeigen, wird durch diese Studie nicht beantwortet. Im vorliegenden Patientenkollektiv kam es zu einer Cage-Sinterung von durchschnittlich 8,8 vornehmlich in den kaudal gelegenen Wirbelkörper. Wie auch beim Korrekturverlust vollzog sich mit 6,4 ein deutlich größerer Anteil der Sinterung vor der ersten Nachuntersuchung und eine zusätzliche ventrale Instrumentierung konnte diesen Prozess nur geringfügig verhindern. Zwischen der Cage-Sinterung und dem Korrekturverlust bestand eine positive Korrelation. Weiterhin wurde in der seitlichen Projektion eine durchschnittliche Kippung des Cages von 3,2° (Kippung 1) nach ventral dokumentiert, wobei es insgesamt nur einmal zu einer Kippung nach dorsal > 3° kam. In der frontalen Projektion lag die durchschnittliche Cage-Kippung bei 2° (Kippung 2) und in etwa gleich häufig zur rechten wie zur linken Seite. Die Lageveränderungen lassen sich demnach zusammenfassend als nach kaudal und ventral mit leichter Seitneigung zu beiden Seiten gerichtet beschreiben.

#### *4.2.5 Radiologischer Vergleich der Untergruppen*

Die Planung der vorliegenden Studie sah die Bildung von Untergruppen vor, in denen der Einfluss einer zusätzlichen ventralen Instrumentierung auf den radiologischen Verlauf untersucht werden sollte. Hierdurch sollten weitere Differenzierungen der Aussage über den möglichen Nutzen einer additiven Plattenapplikation ermöglicht werden. So stellte sich eingangs die Frage, ob sich in Abhängigkeit von der Schwere (Klassifikation nach Magerl [9]) und der Lokalisation der Verletzung (Brust-/ Lendenwirbelsäule) sowie dem Design der verwendeten Implantate unterschiedliche radiologische Verläufe zwischen den Gruppen beobachten ließen. Die hierbei gebildeten Untergruppen waren erfreulicherweise groß genug, um sie einer statistischen Untersuchung zuführen zu können. Einige der Untergruppen waren zahlenmäßig sogar stärker als Gesamtkollektive, von denen in der Literatur berichtet wird. Ein positiver Einfluss einer zusätzlichen ventralen Instrumentierung ließ sich hingegen in keiner dieser Untergruppen erkennen. Es sei an dieser Stelle kritisch erwähnt, dass die Indikation zur Implantation einer zusätzlichen Platte im Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie der Charité (Berlin) bislang im-

mer nach der Beurteilung des intraoperativen Befundes, insbesondere des vorderen Längsbandes, durch den ersten Operateur gestellt wurde. Zum Ausschluss weiterer Störgrößen wurden in den Kollektiven der Gruppen 1 und 2 wichtige Merkmale wie Alter, Geschlecht, Verletzungsklassifikation, Begleitverletzungen und der neurologische Befund nach ASIA/ Frankel miteinander verglichen. Hierbei konnten signifikante Unterschiede zwischen den beiden Gruppen ausgeschlossen werden.

Es bleibt festzuhalten, dass eine additive ventrale Plattenapplikation weder zu einer signifikanten Abnahme des Korrekturverlustes noch der Cage-Sinterung führt und somit weiter die Frage nach dem Nutzen dieses zusätzlichen Implantates gestellt werden muss.

### **4.3 Knöcherne Fusion von operativ versorgten Wirbelsäulenverletzungen**

Neben einer hohen Primärstabilität wird die Fusion zur dauerhaften Stabilisierung des operativ versorgten Wirbelsäuleabschnittes angestrebt [3, 4, 9, 17, 19, 20, 22, 27, 32, 33, 36, 42, 45, 46, 59, 60, 63, 69, 70]. Die ventrale Säule wird dazu mit einem eingebolzten autologen Knochenspan oder alternativ mit einem spongiosabefüllten Wirbelkörperersatz aufgerichtet. Zusätzlich kann dabei zum Schutz des Spans oder Implantats eine ventrale Instrumentierung durchgeführt werden. In einem günstigen Verlauf der sekundären Knochenheilung kommt es zu einer Spondylodese mit Einheilung des Knochenspans in die Wirbelkörper bzw. zur knöcherner Durch- und Umbauung des Cages mit Ausbildung einer Knochenspange, die das stabilisierte Segment überbrückt [17, 74, 138]. Wird dieser Vorgang deutlich verzögert oder bleibt er gar aus, so spricht man von einer Pseudarthrose

#### *4.3.1 Bedeutung der Computertomographie bei der Beurteilung der knöchernen Fusion*

Ein standardisiertes und allgemein anerkanntes Vorgehen zur Beschreibung des knöchernen Heilungsverlaufs an der instrumentalisierten Wirbelsäule wurde nach Kenntnis des Autors noch nicht beschrieben. Deshalb wurden der vorliegenden Studie die an McAfee's [139] Forderungen angelehnten und unter 2.5.1 aufgeführten Fusionskriterien zugrunde gelegt:

- knöcherne Durchbauung im Inneren des Cages
- Ausbildung einer knöchernen Spange entlang des stabilisierten Segmentes
- Fehlen von Lyseherden und Resorptionszonen

Die Auswertung der computertomographischen Aufnahmen erfolgte auf definierten Schnittebenen, in denen jeweils der kraniale und kaudale Kontakt zwischen dem Imp-

lantat und den Wirbelkörpern sowie die Mitte des Implantats dargestellt wurden. Hierdurch konnte die Fusion wesentlich exakter und differenzierter beurteilt werden als auf herkömmlichen Röntgenbildern, auf denen sich im günstigen Fall lediglich eine das stabilisierte Segment überbrückende Knochenspanne als solide Knochenmasse zeigt. Auch feine Unterbrechungen in der Knochenstruktur, wie sie typischerweise bei einer Pseudarthrose auftreten lassen sich auf diese Weise darstellen [206]. Insbesondere die Region unterhalb bzw. entlang der ventralen Platte ist auf den computertomographischen Schnittbildern gut einsehbar, was für die Beurteilung der angelagerten Spongiosa von großer Bedeutung war. Durch Anwendung dieser Methodik konnte auf die von einigen Autoren zusätzlich hinzugezogene Auswertung der seitlichen Funktionsaufnahmen in Inklination und Reklination zur indirekten Beurteilung der knöchernen Fusion [127, 128, 131] verzichtet werden.

Ein grundsätzliches Problem der Computertomographie im Rahmen der postoperativen Verlaufskontrollen von Patienten mit Metall-Implantaten liegt in der Möglichkeit der Entstehung so genannter Artefakte. Diese üblicherweise sternförmig um das Metallimplantat herum entstehenden Bildmuster/-störungen können die Beurteilung der zu untersuchenden Körperregionen stark beeinträchtigen bzw. verhindern. Die Generation dieser Artefakte hängt von mehreren Faktoren, wie z.B. der Zusammensetzung der Metalllegierungen, der Ausrichtung des Implantates während der Datengewinnung, verschiedener Datenakquirierungsmodalitäten (Strahlenhärte, Stromstärke, Strahlenkollimation, Tischvorschub und Wahl der Schichtdicke) sowie den angewandten Algorithmen in der Bildaufarbeitung ab [207, 208]. Stellte die Artefaktbildung zu Zeiten der Ein-Zeilen-Computertomographen noch ein großes Hindernis in der Bildgewinnung dar, so konnten seit der Einführung der Mehrzeilen-Geräte vor einer Dekade erfolgreiche Strategien zur Reduzierung der Artefaktbildung entwickelt werden. Diese fanden Ausdruck in heutzutage weit verbreiteten Empfehlungen zur Festlegung des Untersuchungsprotokolls bei computertomographischer Bildgebung der instrumentierten Wirbelsäule [207, 208, 209]. Alle der in der vorliegenden Studie ausgewerteten Schichtbilder wurden durch ein 8 bzw. 16-Zeilen-Gerät (Hersteller: General Electrics, Gerätetyp Light Speed) der Klinik für Strahlenheilkunde der Charité, Campus Virchow-Klinikum (Berlin) generiert. Das Untersuchungsprotokoll blieb während des gesamten Nachuntersuchungszeitraums unverändert und entspricht weitgehend den aktuellen Empfehlungen der Literatur [207, 208, 209] (siehe Tab.28).

	BWS <sup>1</sup>	LWS <sup>1</sup>	BWS <sup>2</sup>	LWS <sup>2</sup>
Collimation (mm)	16x1,5	16x1,5	16x1,5	16x1,5
Kilovolt-peak	140	140	Mind. 120	Mind.120
Resolution	standart	standart	standart	standart
Miliampere sec.	250-400	275-500	320-500	320-500
Gantry-rotation (s)	0,75	0,75	1,0	1,0
Pitch	0,30	0,30	1,375	1,375
Reconstruction algorithm	soft tissue	soft tissue	soft tissue	soft tissue
Section thickness (mm)	2,0-3,0	2,0-3,0	2,5	2,5
Artefact reduction filter	yes	yes	yes	yes
<sup>1</sup> [207] Douglas-Akinwande AC [2006] Multichannel CT: Evaluating the spine in postoperative patients with orthopaedic hardware. Radiographics 26: 97-110 [208] Lee M-J [2007] Overcoming artefacts from metallic ortopaedic implants at high-field-strength mr imaging and multidetector ct. Radiographics 27 (3) 791-803 [209] Link TM [2000] CT of metal implants: reduction of artefacts using an extended scae technique. J Comput Assist Tomogr 24 (1) 165-172 <sup>2</sup> CT-Untersuchungsprotokoll für BWS und LWS der Klinik für Strahlenheilkunde der Charité (CampusVirchow-Klinikum)				

Tab.28: CT-Untersuchungsprotokolle: Literaturempfehlungen und der Klinik für Strahlenheilkunde der Charité (CampusVirchow-Klinikum)

Die in die Auswertung der vorliegenden Untersuchung aufgenommenen Schichtbilder waren alle frei von stark limitierenden Artefakten. Artefakte, die die Bildanalyse in den drei definierten Schnittebenen nicht beeinflussten, wurden toleriert.

#### 4.3.2 Fusionsergebnisse der vorliegenden Untersuchung im Literaturvergleich

Unter 2.5.2 wurden die strengen radiologischen Fusionskriterien, die bei der Auswertung des vorliegenden Kollektivs angewendet wurden, dargestellt. Hiernach lag der Anteil der Patienten mit einer kompletten Fusion zu den beiden Nachuntersuchungszeitpunkten (ø 12 und ø 32 Monate) bei 45% respektive 60%. Verglichen mit den Fusionsraten anderer radiologischer Untersuchungen an ventral, kombiniert oder transpedikulär versorgten Patientenkollektiven (Nachuntersuchung: 6 Monate bis 8 Jahre; komplette Fusion: 66-100%) liegen die Ergebnisse des vorliegenden Gesamtkollektivs deutlich niedriger [36, 56, 61, 70, 112, 117, 125, 127, 130, 154, 156]. Bei einem Großteil dieser Studien wurde die knöcherne Fusion ausschließlich anhand herkömmlicher Röntgenbilder in seitlicher Projektion beurteilt [56, 70, 127, 128, 154, 156]. Als sicheres radiologi-

sches Zeichen einer knöchernen Fusion galt hierbei die Inkorporation des autologen Knochenspanns, trabekulärer Knochen in der direkten Umgebung des Cages sowie die Ausbildung einer ventralen oder lateralen Knochenspanne. Schnee [128] und Bhat [127] berichten von einer eingeschränkten Aussagekraft herkömmlicher Röntgenbilder zur Beurteilung der knöchernen Fusion aufgrund der Überlagerung wichtiger anatomischer Anhaltspunkte durch die Implantate. In diesen Fällen weichen die beiden Autoren von der Beschreibung der knöchernen Fusion ab, um unter Einbeziehung weiterer radiologischer Kriterien (Beweglichkeit des Konstrukts in den Flexion-Extension-Aufnahmen und/oder Zeichen eines Implantatversagens) die Stabilität des versorgten Segmentes zu beurteilen. Auf diese Weise wurde in den beiden Untersuchungen nach jeweils zwölf und 24 Monaten bei allen Patienten (100%) eine komplette ventrale Fusion bzw. stabile Rekonstruktion beobachtet. Eck [155] berichtet davon, dass auf 14,2% der herkömmlichen Röntgenaufnahmen die Beurteilbarkeit des Fusionsergebnisses von mindestens zwei der drei unabhängigen Untersuchern als ungenügend eingestuft wurde. Als einen weiteren Nachteil der herkömmlichen Röntgendiagnostik bei korporektomierten Patienten mit einer Cage-Implantation führt er die Unmöglichkeit der Darstellung des Cage-Inneren auf. Immerhin wurden auch in dieser Untersuchung nach durchschnittlich zwei Jahren 78% der Segmente mit verwertbaren Röntgenbildern als knöchern fusioniert eingestuft. In der DGU-Sammelstudie von Knop et al [70] lag unter 93 Patienten mit deskriptiven Beschreibungen der Spondylodese der Anteil der Patienten mit sicheren radiologischen Zeichen einer ausgebliebenen Fusion (Spannekrose/Spannpseudarthrose) bei 15,2%. Weitere 11,8% waren nicht eindeutig zu beurteilen, und in 73% der Fälle wurde eine vollständige knöcherne Fusion dokumentiert. Es wurde hierbei nicht näher darauf eingegangen, ob sich diese Beobachtungen auf die Auswertung herkömmlicher oder computertomographischer Aufnahmen stützten. Eine weitere Untersuchung von Knop [61] zum Grad der Inkorporation von transpedikulär eingebrachter Spongiosa zeigte nach durchschnittlich 3,5 Jahren in den computertomographischen Aufnahmen eine sichere Fusion in nur einem Drittel der Fälle. Zu je einem weiteren Drittel musste von einer unklaren Fusion bzw. einer sicher nicht eingetretenen Fusion ausgegangen werden. Knop hebt hierbei die entscheidende Bedeutung der Computertomographie mit ihrer Möglichkeit der Rekonstruktion zusätzlicher Schnittebenen zur Beurteilung der Spondylodese bei Wirbelsäulenverletzungen hervor. Ebenfalls auf der Auswertung computertomographischer Aufnahmen basierte die Beobachtung Kandziora's [36] an einem Patientenkollektiv mit zervikalen Korporektomie-Cages, der zufolge es innerhalb eines Nach-



untersuchungszeitraumes von mindestens sechs Monaten bei allen Patienten zur Inkorporation der Cages an den Grund- und Deckplatten der benachbarten Wirbelkörpern allerdings weder zu einer kompletten Durchbauung des Cage-Inneren noch der Ausbildung einer Knochenspanne gekommen war. In einem zweiten Kollektiv mit thorakolumbalen Korporektomie-Cages fand sich nach mindestens zwölf Monaten bei allen Patienten eine komplette knöcherne Durchbauung des Cages und eine laterale Knochenspanne in 33% der Fälle. Der zeitlichen Verlauf einer Spondylodese scheint demnach mit der Durchbauung des mit autologem kortiko-spongiösem Material befüllten Inneren des Implantats zu beginnen, während sich laterale oder ventrale Knochenspannen erst allmählich ausbilden. Diese Annahme wird durch Beobachtungen am vorliegenden Gesamtkollektiv gestützt. Bereits zur ersten Nachuntersuchung (ø 12 Monaten) zeigte sich eine knöcherne Durchbauung aller Cages. Eine durchgehende Knochenspanne hatte sich zu diesem Zeitpunkt hingegen nur bei 45,8% entwickelt. Dieser Anteil wuchs bis zur zweiten Nachuntersuchung (ø 32 Monaten) auf 64,3% an. Es scheint demnach, als müsse unter der Einbeziehung computertomographischer Aufnahmen und der oben aufgeführten strengen Fusionskriterien mit einem längeren Verlauf der Spondylodese gerechnet werden als es die Auswertung herkömmlicher Röntgenbilder impliziert.

Weiterhin lässt sich aus diesen Beobachtungen eine Anforderung an die Gestaltung neuer Korporektomie-Cages ableiten. Gerade unter dem Gesichtspunkt der zunehmenden Bedeutung endoskopischer und minimal-invasiver Operationsverfahren in der Wirbelsäulenchirurgie [40, 41, 51, 76, 81] müsste in die Entwicklung notwendigerweise kleiner Implantate auch der Gedanke einfließen, dass die Inkorporation des Cages in der frühen postoperativen Phase vor allem im Inneren des Cages stattfindet und demnach ein möglichst großer Hohlraum zur Befüllung mit autologer/ allogener Spongiosa ein entscheidendes Merkmal für einen erfolgreichen Fusionsverlauf sein kann.

#### *4.3.3 Einfluss einer additiven Plattenapplikation auf das knöcherne Fusionsergebnis beim Einsatz von thorako-lumbalen Korporektomie-Cages*

##### *4.3.3.1 Höhere Fusionsraten in der Gruppe mit additiver Plattenapplikation*

Im Gegensatz zum Ergebnis des Gesamtkollektivs lässt sich die Fusionsrate in der Gruppe mit additiver Plattenapplikation gut mit den Literaturangaben, in denen von Fusionsraten zwischen 66 bis 100% in kombiniert versorgten Kollektiven berichtet wird, vergleichen [36, 56, 70, 112, 117, 125, 127, 130, 154, 156]. In einigen dieser Untersuchungen wurde eine zusätzliche ventrale Instrumentierung zwar dokumentiert, doch

liegen nach Kenntnis des Autors bislang keine Studienergebnisse zum Einfluss eines additiven Plattensystems auf den knöchernen Heilungsverlauf von kombiniert versorgten thorakolumbalen Wirbelsäulenverletzungen vor.

Das vorliegende Kollektiv zeigt signifikant bessere Fusionsergebnisse in der Gruppe mit einer additiven ventralen Platte. Der Anteil der komplett fusionierten Wirbelsäulenabschnitte lag nach durchschnittlich zwölf Monaten in der Gruppe 1 bei 63% gegenüber 25% in der Gruppe 2 ( $p < 0.05$ ). Nach durchschnittlich 32 Monaten betrug das Verhältnis sogar 81% in der Gruppe 1 zu 33% in der Gruppe 2 ( $p < 0,001$ ). In 94% der Fälle hatte sich die Knochenspanne in der Gruppe 1 unterhalb bzw. entlang der zusätzlichen Platte entwickelt. Der Anteil der inkompletten Fusionen lag zur zweiten Nachuntersuchung bei 19% (Gruppe 1) bzw. 64% (Gruppe 2). In der Gruppe 2 ließ sich bei etwa einem Drittel der Patienten auf einer oder zwei der definierten Schnittebenen eine Knochenspanne nachweisen. In einem weiteren Drittel der Fälle lagen keine Zeichen einer Spangenbildung vor; es zeigten sich allenfalls Fragmente der im Rahmen des ventralen Eingriffs an das Cage-Äußere angelagerten Spongiosa, während sich im Cage-Inneren bereits eine zusammenhängenden knöchernen Durchbauung darstellte. Die zusätzliche Applikation eines ventralen Plattensystems scheint demnach, einen entscheidenden Einfluss auf den knöchernen Heilungsverlauf zu nehmen. Die möglichen Ursachen hierfür werden im Folgenden diskutiert.

#### *4.3.3.2 Hohe Primärstabilität und der Begriff des „stress-shielding“: zwei Kontrapunkte in der Lehre der Knochenheilung*

Es liegen zahlreiche experimentelle Untersuchungen an Korporektomie-Modellen zu den biomechanischen Eigenschaften von Platten- und Stabsysteme, welche entweder im Rahmen von ventralen oder kombinierten dorso-ventralen Eingriffen Anwendung finden, vor [16, 37, 60, 67, 75, 82, 84, 102, 109, 129]. In der Regel handelt es sich hierbei um Kadaverstudien, bei denen an definierten Bewegungssegmenten unter standardisierten Bedingungen eine artifizielle Instabilität geschaffen und daraufhin das Stabilisierungspotential der zu testenden Implantate durch die Messung der erzeugten Konstrukstteifigkeit getestet wird. Je nach Studiendesign und Fragestellung konnte für die instrumentierten Segmente eine Steifigkeit nachgewiesen werden, welche vergleichbar oder höher als die eines Nativpräparates [60, 82, 84, 102] bzw. vergleichbar oder höher als die eines ausschließlich von dorsal versorgten Bewegungssegmentes [16, 129] war. Kandziora [36, 75, 159] und Le Huec [37] konnten sowohl an zervikalen als auch an

thorakolumbalen humanen Modellen den Nachweis erbringen, dass eine additive Plattenapplikation nach dem Einbringen eines Korporektomie-Cages bzw. eines Diskektomie-Cages zu einer signifikanten Erhöhung der Konstruktsteifigkeit führt. Eine zusätzliche Platte kann über die Aufnahme und Übertragung axial wirkender Kompressionskräfte zur Entlastung des Platzhalters (autologer Knochenspan/ Korporektomie-Cage) führen [16, 36, 67, 109, 114] und möglicherweise angelagerter Spongiosa Schutz vor der Resorption bieten [63].

Die Entwicklung immer rigiderer Implantate zur ventralen Instrumentierung basiert auf dem Gedanken, durch die Erhöhung der Primärstabilität verbesserte Voraussetzungen für die knöchernen Fusionierung zu schaffen und hierüber eine Verringerung des postoperativen Korrekturverlustes zu erreichen [2, 60, 69, 82, 84, 102]. Allerdings gibt es auch in der Wirbelsäulenchirurgie einige Autoren, die der Anwendung maximal rigider Implantate kritisch gegenüberstehen [166, 167, 168, 169]. 1989 führte McAfee [166] den Begriff der „device-related osteopenia“ als Merkmal des so genannten „stress-shielding effect“ ein, nachdem er in einem Tierversuch eine signifikante Abnahme der Knochendichte innerhalb eines maximal stabilisierten Bewegungssegmentes nachweisen konnte (Nachuntersuchungszeitraum: 6 Monate). Der Gedanke des Wolff'schen Transformationsgesetzes [169], wonach mechanisch nicht beanspruchter Knochen in einem fortschreitendem Resorptionsprozess aufgebraucht wird, sowie die Ergebnisse histologischer Untersuchungen zur Frakturheilung langer Röhrenknochen nach Platteninstrumentierung [170, 171] führten zu der These, maximal steife Konstrukte könnten durch Unterbinden so genannter Mikrobewegungen eine für den Fusionsprozess erforderliche minimale Belastung des autologen Knochenspans bzw. der angelagerten Spongiosa verhindern („stress-shielding“). McAfee [166] berichtete jedoch auch, dass es trotz des verringerten Mineralgehaltes und einer niedrigeren Knochenneubildungsrate in der Gruppe mit der rigideren dorsalen Instrumentierung zu einer signifikant höheren Fusionsrate gekommen war. Seine Untersuchung an Hundelendenwirbelsäulensegmenten zeigte ein verbessertes Einheilen der knöchernen Fusionsmasse in die beteiligten Wirbelkörper, weshalb er nach Abwägung von Vor- und Nachteilen der hohen Primärstabilität zur Verwendung rigider Implantate bei der Versorgung instabiler Wirbelsäulenverletzungen riet. Shirado [172] konnte die Ergebnisse McAfee's in einem lumbalen Hunde-Korporektomie-Modell auch bei Verwendung eines rigiden ventralen Implantates nachvollziehen (Nachuntersuchungszeitraum: 6 Monate). Zwar zeigten sich bei der quantitativ-histologischen und mikroradio-

graphischen Bestimmung der Knochenendichte niedrigere Werte für die Gruppe mit dem ventralen Implantat, doch fiel hier ebenfalls eine höhere Einheilungsrate der Fusionsmasse auf. Kleiner [173] verglich Biopsien thorakolumbalen Fusionsmassen von Patienten, bei denen eine Fusion ohne zusätzliche Instrumentierung angestrebt worden war (Zeitraum zwischen Fusion und Biopsieentnahme:  $\bar{x}$  14,4 Jahre) mit denen von Patienten mit dorso-ventraler Instrumentierung und Fusion (Zeitraum zwischen Fusion und Biopsieentnahme:  $\bar{x}$  1,7 Jahre). Das histomorphologische Bild zeigte bessere knöcherne Materialeigenschaften für die Fusionsmassen der Gruppe mit zusätzlicher Instrumentierung, was zum einen auf die Tatsache zurückgeführt wurde, dass die Operationsindikation in der Gruppe ohne Instrumentierung aufgrund des Verdachts einer Pseudarthrose gestellt wurde, zum anderen aber durch den Autor auch als Nachweis dahingehend gewertet wurde, dass eine Instrumentierung mit Erhöhung der Primärstabilität nicht zu dem befürchteten „stress-shielding“-Effekt führe. Es sollte betont werden, dass sich die sogenannte „device-related osteopenia“ in den Wirbelkörpern der fusionierten Segmente darstellte, nicht aber in der Fusionsmasse, also der Knochenspanne zwischen diesen Wirbelkörpern. Diese zeigte sogar bessere Materialeigenschaften, wenn die Fusionierung mit einer zusätzlichen Instrumentierung angestrebt wurde [173, 174]. Der Zusammenhang zwischen der Abnahme des Knochenmineralgehaltes und dem Grad der operativen Primärstabilität [167,168] scheint sich demnach nicht direkt auf das rigide Instrumentarium zurückführen zu lassen, sondern ist eher als eine Folgeerscheinung der Minderbelastung der fusionierten Wirbelkörper im Sinne der Wolff'schen Theorie zu verstehen [169].

In der vorliegenden Untersuchung lässt sich die schnellere und häufigere komplette knöcherne Fusionierung in der Gruppe mit zusätzlicher ventraler Instrumentierung nach Einschätzung des Autors auf die höhere Primärstabilität in dem versorgten Wirbelsäulensegment und die hierdurch verbesserten Voraussetzungen für die knöcherne Heilung zurückführen. Auch Knop et al. [70] halten diesen Zusammenhang vor dem Hintergrund des Nachweises einer höheren biomechanischen Stabilität *in vitro* für möglich. Feighan [182] konnte den Nachweis dieses Zusammenhanges *in vivo* erbringen, indem er an Kaninchen drei verschiedene dorsale Fusionsverfahren mit steigender Konstruktivrigidität testete und nach zwei Monaten die knöcherne Fusion biomechanisch und histologisch untersuchte. Während in der Gruppe mit der höchsten Steifigkeit bereits nach zwei Monaten eine solide knöcherne Fusion zu beobachten war, enthielt die Fusionsmasse in der Gruppe der mittleren Steifigkeit vor allem fibrocartilaginäre mit einigen ossären und

in der Gruppe mit der niedrigsten Steifigkeit vor allem fibröse mit einigen fibrocartilaginären Anteile. Unter den Bedingungen einer erhöhten Primärstabilität kann sich demnach der Vorgang der knöchernen Fusionierung schneller vollziehen. Kleiner [173], der Biopsien aus der humanen Fusionsmasse von thorakolumbalen Spondylodesen histomorphologisch auswertete, berichtet von einem Zeitraum von 1,5 Jahren bis zur Ausbildung eines histologisch „reifen“ Fusionsmaterials.

Es bedürfte eines längeren Nachuntersuchungszeitraumes zur Beantwortung der Frage, ob in der Gruppe ohne ventrale Instrumentierung eine Fusionsrate ähnlich der in der Gruppe mit additiver Platte erreicht werden kann. Arbeiten an kombiniert versorgten Kollektiven mit einem längeren Nachuntersuchungszeitraum deuten darauf hin, wenn auch in diesen die Beurteilung der knöchernen Fusion allein auf der Auswertung herkömmlicher Röntgenbilder beruht und damit ein methodischer Nachteil verbunden ist [63, 127].

Weiterhin stellt sich die Frage, warum der postoperative Korrekturverlust in der Gruppe mit Platte trotz des besseren Fusionsergebnisses nicht niedriger ausfällt als in der Gruppe ohne Platte? Auch ein Höchstmaß an operativer Primärstabilität scheint das Nachgehen des stabilisierten Konstruktes nicht aufhalten zu können. Übereinstimmend mit den Beobachtungen von Stoltze und Harms [114] fanden sich die Hauptverluste sowohl für den Korrekturverlust als auch die Cage-Sinterung im vorliegenden Patientengut während des ersten postoperativen Jahres, einem Zeitraum, in dem noch nicht mit der Ausbildung einer soliden Arthrodesen gerechnet werden kann. Stoltze und Harms [114] führen den Korrekturverlust auf das plastische Verhalten des Knochens in dieser Zeit zurück. Wenn also ein gewisser Korrekturverlust scheinbar nicht zu verhindern ist [70], so rückt das Interesse, eine knöcherne Fusion möglichst rasch zu erreichen, weiter in den Vordergrund. Diese Schlussfolgerung spricht eindeutig für die zusätzliche ventrale Instrumentierung.

#### *4.3.3.3 Fusionsdauer und Defektgröße*

Die ventrale Fusionierung eines mit Korporektomie-Cage versorgten Wirbelsäulensegmentes vollzieht sich in Form der Inkorporation der autologen Spongiosa, welche in das Innere des Cages eingebracht und an dessen Außenseite angelagert wird. Notwendige Voraussetzungen für einen optimalen Heilungsverlauf sind eine ausreichend hohe Primärstabilität, ein gut durchblutetes Implantatlager und das sorgsame Einbringen einer durchgehenden Spongiosastraße mit möglichst großen Kontaktflächen zwischen

dem Transplantat und dem Implantatbett [160-164, 196, 170, 194-199]. Die Inkorporation der Spongiosa beginnt an den Kontaktflächen mit den kranialen und kaudalen Wirbelkörperendplatten und setzt sich in Richtung der Mitte des Korporektomie-Cages fort [197, 199, 202]. Hierbei können fünf sich zeitlich überlappende Phasen beobachtet werden, in deren Verlauf unter sukzessiver Resorption der Spongiosa ein neuer, belastungsstabiler Knochen gebildet wird. Die frühe Phase wird geprägt durch eine Entzündungsreaktion, die Revaskularisation des Transplantats sowie zahlreiche unter den Begriffen der Osteogenese und Osteoinduktion zusammengefasste komplexe Vorgänge. Nach vollständiger Revaskularisation des Transplantats beginnt das so genannte „Remodeling“ des Transplantats, bei dem nebeneinander die knochenabbauenden Osteoklasten die Spongiosa abbauen, während osteoidbildende Osteoblasten neuen Knochen an diese anlagern. Dieser Vorgang nimmt die meiste Zeit des Einheilungsprozesses ein, an dessen Ende die Ausrichtung der neuen Knochenbälkchen nach den Hauptbelastungslinien im Sinne des Wolf'schen Transformationsgesetzes des Knochens steht [169, 188, 189, 194, 196, 199, 200].

Es erscheint nahe liegend, hierbei von einem Zusammenhang zwischen der Defektgröße und der Dauer des Heilungsverlaufs auszugehen. In der Literatur finden sich allerdings keine Angaben darüber, mit wie viel neu gebildetem Knochen pro Zeitintervall während des „Remodeling“ gerechnet werden kann. Zwar ist aus Erfahrungen bei der Kallusdistraktions-Osteogenese (z.B. im Rahmen der Behandlung von Infektpseudarthrosen) bekannt, dass sich nach einer kontrollierten Osteotomie und anschließender kontinuierlicher Distraction des jungen, kallösen Knochens bei Erwachsenen bis zu einem halben Zentimeter vitaler und belastungsabhängiger Knochen pro Monat (ein Zentimeter/ Monat bei Kindern) bilden kann, doch lassen sich diese Angaben aufgrund der sehr unterschiedlichen Heilungsvoraussetzungen nicht ohne Weiteres auf das ventrale Fusionsmodell (Cage, Spongiosa, Platte) übertragen.

Die durchschnittliche Höhe eines Brustwirbelkörpers wird in der Literatur mit 25 mm, die des fünften Lendenwirbelkörpers mit 29 mm angegeben. Die mittlere Höhe des Bandscheibenraums der thorako-lumbalen Wirbelsäule liegt bei 15 mm [200, 201]. Nach dem Abtragen der knorpeligen Schlussplatten [1-2 mm) im Rahmen der Präparation des Implantatlagers bleibt somit im Segment Th12/ L1 ein Defekt von ca. 60 mm, der knöchern überbrückt werden muss. Bei inkompletten Wirbelkörperfrakturen besteht die Möglichkeit, den intakten kaudalen Wirbelkörperanteil in situ zu belassen und nach Resektion von lediglich einem Bandscheibenfach eine monosegmentale Fusion durchzu-

führen (Defektgröße: ca.30 mm).

Im vorliegenden Kollektiv wurden unter Einschluss der am häufigsten betroffenen Wirbelkörper BWK 12, LWK 1 und LWK 2 die Fusionsergebnisse der mono- und bisegmental versorgten Wirbelsäulenabschnitte nach einem Jahr miteinander verglichen. Bei einer Fallzahl von insgesamt nur vier monosegmental versorgten Patienten (subtotale Korporektomie und Resektion von einem Bandscheibenfach) ließen sich hierbei entgegen der oben geäußerten Erwartung eines Zusammenhangs zwischen Defektgröße und Fusionsdauer radiologisch keine signifikanten Unterschiede beobachten. In etwa der Hälfte der Fälle zeigten sich in beiden Gruppen eine durchgehende knöcherne Durchbauung im Inneren des Cages und eine kontinuierliche Knochenspanne ohne Resorptionszonen in der Umgebung der Implantate (Grad-1-Fusion). Zum Zeitpunkt der zweiten Nachuntersuchung waren alle monosegmental versorgten Wirbelsäulenabschnitte (BWK 12-LWK 2] komplett fusioniert, während sich in der Gruppe der bisegmental versorgten Verletzungen die unter 3.3.7 beschriebenen Unterschiede zwischen den mit bzw. ohne additiver Platte instrumentierten Verletzungen darstellten.

Auf dem Boden der vorliegenden Ergebnisse lassen sich aufgrund der geringen Fallzahlen der monosegmental versorgten Verletzungen keine Aussagen zu der Abhängigkeit der Fusionsdauer von der zu überbrückenden Defektgröße treffen. Die Zahlen legen allerdings nahe, dass bei monosegmental versorgten Verletzungen nach spätestens 32 Monaten radiologisch mit einer kompletten Fusion gerechnet werden kann. Auch größere Defekte können zu diesem Zeitpunkt komplett fusioniert sein, wobei sich in der vorliegenden Studie signifikant bessere Fusionsraten in der Gruppe mit additiver ventraler Instrumentierung zeigten.

#### *4.3.3.4 Protektiver Effekt einer zusätzlichen Plattenapplikation für die angelagerte Spongiosa?*

Als weitere Ursache für die besseren Fusionsergebnisse in der Gruppe mit zusätzlicher ventraler Instrumentierung könnte eine protektive Funktion der Platte für die angelagerte Spongiosa diskutiert werden. Die Spongiosastraßen werden in der Regel zwischen dem Cage und der Platte angelegt. Hierdurch kann gerade in der vulnerablen Frühphase der Spongiosainkorporation eine Dislokation oder mechanische Zerrüttung des Transplantates, was einer Unterbrechung der Leitstruktur des neu einwachsenden Knochens gleichkäme, verhindert werden. Die Tatsache, dass sich die Knochenspannen in der Gruppe mit ventraler Instrumentierung in 94% der Fälle direkt unterhalb und entlang

der Platte ausgebildet haben, stützt diese Hypothese. Ob diese schützende Funktion in einem rein mechanischen Sinne zu verstehen ist oder ob die Platten osteoinduktive und osteokonduktive Eigenschaften aufweisen, wird sich durch die vorliegende Untersuchung nicht beantworten lassen.

#### *4.3.3.5 Additive Plattenapplikation im Rahmen der zervikalen Spondylodese*

Bei der operativen Versorgung zervikaler Spondylosen stellt die zusätzliche Plattenaugmentation eines mit autologem oder allogenen Knochen fusionierten Bewegungssegmentes ein allgemein anerkanntes Verfahren dar [178]. Untersuchungen an zum Teil großen Kollektiven konnten bessere Fusionsraten in den Gruppen mit einer additiven ventralen Platte zeigen [175-180,190]. Kaiser [177] et al. verglichen in einer Untersuchung insgesamt 540 Patienten, bei denen aufgrund degenerativer Erkrankungen der Halswirbelsäule eine Fusion von ein bis zwei Bewegungssegmenten der vorderen Säule mit allogenen Knochenspan angestrebt wurde. In etwa die Hälfte der Patienten erhielt eine zusätzliche ventrale Platte. Die radiologische Auswertung ergab eine signifikant höhere Fusionsrate in der Gruppe mit additiver Platte, bei einer signifikant niedrigeren Komplikationsrate bezüglich des allogenen Knochenspans. Plattenassoziierte Komplikationen traten nicht auf. Diese Ergebnisse sind gut vergleichbar mit denen von Untersuchungen an kleineren Kollektiven [176, 177, 179, 180], wobei von allen Autoren die höhere Primärstabilität mit Vermeidung von Mikrobewegungen [177] als Hauptgrund für die besseren Fusionsergebnisse angeführt wird. Zwar stehen auch für den Einsatz an der Halswirbelsäule so genannte dynamische Platten zur Verfügung, durch die Mikrooszillationen im Bereich der fusionierten Segmente ermöglicht werden sollen, doch wird die Diskussion um den Begriff des „stress-shieldings“ im Rahmen der operativen Versorgung der Halswirbelsäule nicht annähernd so kontrovers diskutiert wie bei Verfahren an der thorako-lumbalen Wirbelsäule [191-193].

#### *4.3.3.6 Bedeutung des Plattendesigns bei additiver Plattenapplikation*

Bei den beiden in der vorliegenden Untersuchung verwendeten Plattentypen handelt es sich um ein winkelstabiles Modell aus rostfreiem Stahl und eines aus Titan, die mit jeweils einer Schraube pro Wirbelkörper verankert werden. Weder der Wolter-Druckplattenfixateur (Fa. Link, Hamburg, Deutschland) noch die LC-Platte (Fa. Synthes, Solothurn, Schweiz) wurden speziell für die Anwendung an der ventralen Wirbelsäule entwickelt. Ein den besonderen anatomischen Gegebenheiten der vorderen Wirbelsäule angepasstes Design der Implantate scheint also nicht von vorrangiger Bedeutung zu



sein, obgleich zahlreiche Studien zu den biomechanischen Eigenschaften anderer ventraler Wirbelsäulenimplantate auf mitunter signifikante Unterschiede hinsichtlich des Stabilisierungspotentials dieser Modelle hinweisen [16, 60, 67, 129]. In diesen Arbeiten wurden allerdings ausschließlich Implantate für eine rein ventrale Instrumentierung getestet, die die gesamte Primärstabilität für das versorgte Segmentes gewährleisten mussten. Für die beiden Plattentypen, die in der vorliegenden Untersuchung als zusätzliches Implantat bei gleichzeitiger dorsaler Stabilisierung analysiert wurden, entfällt diese Notwendigkeit. Immerhin sollte bei der Wahl eines Implantats das Merkmal der Winkelstabilität erfüllt werden, da sich aus der vorliegenden Studie keine Aussagen über das Fusionsergebnis bei der Verwendung von winkelinstanten Platten treffen lassen. Es sei an dieser Stelle noch einmal betont, dass Kandziora [36] bei der biomechanischen Testung verschiedener Wirbelkörperersatzsysteme in einem Korporektomie-Modell mit dorso-ventraler Stabilisierung eine signifikante Zunahme der Konstruktsteifigkeit nach additiver Applikation einer winkelstabilen Platte feststellen konnte. Im Vergleich zu einem intakten Nativpräparat führte die Instrumentierung der Bewegungssegmente Th12 bis L2 mit einem dorsalen Fixateur interne (USS, Fa. Synthes, Solothurn, Schweiz), einem Korporektomie-Cage (VBR, Fa. Ulrich, Ulm, Deutschland) und einer ventralen Platte (LCP, Synthes, Solothurn, Schweiz) zu einer Verdreifachung der Steifigkeit des Konstruktes für alle Bewegungsrichtungen.

#### *4.3.3.7 Komplikationen einer additiven Plattenapplikation*

Den potentiellen Vorteilen additiver ventraler Platten sollten bei Abwägungen über den sinnvollen Einsatz dieser Implantate deren spezifischen Komplikationen gegenüber gestellt werden. Allgemeine operative Komplikationen wie z.B. postoperative Beinvenenthrombosen, Lungenarterienembolien, Pneumonie und Wundinfektionen werden im Folgenden ebenso wenig berücksichtigt wie perioperative Komplikationen, die sich aus dem ventralen Zugang zur thorako-lumbalen Wirbelsäule ergeben können (z.B. Läsionen von Gefäßen, Urether, Ductus thoracicus). Im vorliegenden Patientenkollektiv wurden keine Komplikationen dokumentiert, die in unmittelbarem Zusammenhang mit dem ventralen Plattensystem standen. Damit lassen sich die Ergebnisse gut mit anderen Untersuchungen vergleichen, in denen die Komplikationsraten mit 0-6% für ventrale Implantate angegeben werden [32, 34, 56, 62, 63, 66, 68, 69, 93, 128, 143, 149]. Im überwiegenden Teil dieser Arbeiten wurden die Ergebnisse ausschließlich ventraler Eingriffe an der thorako-lumbalen Wirbelsäule ausgewertet, bei denen die Instrumentierung

lediglich in Kombination mit einer autologen oder allogenen Knochenspaninterposition erfolgte und die Implantate dadurch einer weitaus höheren Kompressionsbelastung in der vorderen Säule ausgesetzt waren als es im Rahmen einer dorso-ventralen Versorgung mit Fixateur interne der Fall ist. Die mit Abstand häufigste Komplikation, von der berichtet wird, stellt daher das Implantatversagen mit Bruch von Stäben, Platten oder Schrauben bzw. der Schraubenlockerung dar. In keinem der zitierten Fälle führten diese Komplikationen zu einer operativen Revision. Eine ernstzunehmende Gefahr, die durch die unmittelbare Nähe des ventralen Implantats zu den großen paravertebralen Gefäßen entsteht, stellt die Möglichkeit einer erosiven Blutung dar. Haas [32] empfiehlt deshalb den Gebrauch von Platten mit einem möglichst flachen Design. Auch beim Einsatz an der ventralen Halswirbelsäule liegt die implantatspezifische Komplikationsrate sehr niedrig [176-180]. Kaiser [177] berichtet von 0% Komplikationen in einem Kollektiv von 251 Patienten mit zervikalen Spondylosen und ventraler Plattenosteosynthese im Rahmen ventraler ein- und zweisegmentaler Fusionierungen. Aufgrund der leichten Handhabung und der niedrigen Komplikationsrate von ventralen Plattensystemen stellt der Einsatz dieser Implantate bei Fehlen von Kontraindikationen (schwere Osteoporose) ein allgemein anerkanntes Vorgehen im Rahmen von Eingriffen an der ventralen Wirbelsäule dar [2, 32].

#### **4.4 Klinische Ergebnisse**

Der Schwerpunkt der vorliegenden Untersuchung liegt auf der Auswertung der radiologischen Ergebnisse. Die Erfahrungen anderer Autoren haben gezeigt, dass alle derzeit praktizierten operativen Verfahren zu gleichwertigen klinisch-funktionellen Ergebnissen führen [70, 125]. Zwar ist aus vergleichenden Studien an konservativ und operativ behandelten Patientenkollektiven ein Zusammenhang zwischen dem postoperativen Korrekturverlust und langfristigen persistierenden Rückenbeschwerden bekannt, doch lässt sich dieser erst bei einem Verlust von über 15° Rekyphosierung, einem Wert also, der deutlich über den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung liegt, herstellen [181, 182]. Aus diesem Grund war die Erwartung, dass sich ein durch die zusätzliche ventrale Instrumentierung verbessertes radiologisches Ergebnis auch in einem besseren klinischen Bild zeigen könnte, nicht hoch.

##### *4.4.1 Wirbelsäulenbeweglichkeit und Schmerzsymptomatik*

So zeigten sich auch im vorliegenden Patientenkollektiv bei der postoperativen Prüfung der Wirbelsäulenbeweglichkeit sowie des neurologischen Status und der Befragung

nach dem subjektiven Schmerzempfinden keine signifikanten Unterschiede zwischen der Gruppe mit und der ohne additive Plattenapplikation. Als zuverlässigster Wert für die Überprüfung der Wirbelsäulenbeweglichkeit wird von Knop [70] der Finger-Boden-Abstand angegeben. Übereinstimmend mit den Angaben der DGU-Multicenter Sammelstudie kam es auch in den mit und ohne Platte instrumentierten Gruppen zu einer signifikanten Abnahme des Finger-Boden-Abstandes zwischen der ersten und zweiten Nachuntersuchung ( $p < 0,001$ ). Dabei zeigte sich mit 15,4/18,7cm in der vorliegenden Untersuchung und 17cm bei Knop et al. [70] eine gute Vergleichbarkeit der Ergebnisse. Im gleichen Zeitraum sank in beiden Gruppen das auf einer visuellen analogen Skala angegebene Niveau der Rückenschmerzen signifikant (Gruppe 1: 25,2; Gruppe 2: 28,2) ( $p < 0,001$ ), jedoch ohne dass sich der Nachweis eines statistisch signifikanten Zusammenhanges mit der Zunahme der Wirbelsäulenbeweglichkeit erbringen ließ. Am Ende des Nachuntersuchungszeitraumes waren insgesamt 94,6% der Patienten in Ruhe und 70,3% der Patienten unter Belastung schmerzfrei oder verspürten nur gelegentlich Schmerzen. Vieweg [112] und Been [56] berichten von 87% bzw. 85% schmerzfreier Patienten in kombiniert versorgten Kollektiven, in denen allerdings der Anteil der Patienten mit einem präoperativen neurologischen Defizit und Polytraumata deutlich niedriger lag als in dem der vorliegenden Untersuchung. Knop et al [70] geben den Anteil der mit dem Behandlungsergebnis zufriedenen oder sehr zufriedenen Patienten mit 82% an. Es zeigt sich demnach auch bei diesen Ergebnissen eine gute Vergleichbarkeit mit den Literaturangaben, obgleich eine Vielzahl von angewandten Systemen zur Klassifizierung der Schmerzintensität und der subjektiven Zufriedenheit der Patienten diesen Vorgang erschwerte [63, 112, 124, 128, 130, 131, 151, 152]. Diesbezüglich konnte sich bislang kein einheitliches und international anerkanntes System durchsetzen.

#### *4.4.2 Neurologischer Verlauf*

Zur Beschreibung eines präoperativen neurologischen Defizits und des postoperativen neurologischen Verlaufs hingegen wird in den meisten Studien die Einteilung nach Frankel/ ASIA verwendet [97, 98]. In der vorliegenden Untersuchung verbesserte sich der neurologische Befund im Gesamtkollektiv um durchschnittlich 1,6 Stufen nach ASIA/ Frankel ohne signifikante Unterschiede in den Untergruppen mit und ohne zusätzliche Platte. Aufgrund einer passageren Harninkontinenz musste die Einteilung bei einem Patienten um eine Stufe von ASIA/ Frankel E auf D korrigiert werden. Nach dem spontanen Sistieren der Beschwerden erreichte der Patient zum Ende des Nachunter-

suchungszeitraumes wieder die Stufe ASIA/ Frankel E. Überraschenderweise lag der Anteil der Patienten mit einem initialen kompletten Querschnitt, deren Befund sich im Verlauf der Nachuntersuchungen besserte, deutlich höher als bei Knop [70]. Von den insgesamt neun Patienten mit einem voll ausgeprägten senso-motorischen Querschnittsyndrom bei stationärer Aufnahme zeigte lediglich ein Patient zur zweiten Nachuntersuchung weiterhin den Befund ASIA/ Frankel A, während sich drei Patienten um zwei Stufen, drei weitere um drei und zwei Patienten um vier Stufen verbesserten. Dies entspricht einem Anteil von 88,8%, die sich gegenüber lediglich 40% bei Knop [70] von ihrem initial kompletten neurologischen Defizit erholten. Diesbezüglich muss jedoch erwähnt werden, dass ein Patient mit dem Befund ASIA/ Frankel A bei stationärer Aufnahme, Entlassung und zur ersten Nachuntersuchung nicht zur letzten Untersuchung erschien und aus diesem Grund nicht bei der Auswertung der Ergebnisse berücksichtigt werden konnte. In der Literatur liegen die Angaben zur Besserung des neurologischen Befundes sowohl bei kombiniert als auch bei ausschließlich von ventral oder dorsal versorgten Patientenkollektiven zwischen 1,0 und 1,8 nach ASIA/ Frankel [56, 63, 112, 128, 130, 131, 184]. Der fehlende Nachweis der Überlegenheit eines bestimmten operativen Verfahrens hinsichtlich der neurologischen Erholung ist einer der Gründe, weshalb weiterhin eine kontroverse Diskussion über die Versorgungsmöglichkeiten von Wirbelsäulenverletzungen geführt wird [32, 51, 52, 63, 69, 85]. Auch aktuelle groß angelegte Untersuchungen konnten keinen entscheidenden Beitrag zur Klärung dieser Frage leisten [70, 125]. Die ventrale Dekompression des Spinalkanals wird von ihren Befürwortern dennoch empfohlen, weil sich in experimentellen Studien ein Zusammenhang zwischen dem Ausmaß und der Dauer der Rückenmarkkontusion und der neurologischen Restitution herstellen lässt [62, 63, 185, 186].

#### **4.5 Kosten-Nutzen- Verhältnis einer additiven ventralen Plattenapplikation**

Die Materialmehrkosten durch eine additive ventrale Plattenapplikation belaufen sich für die 3,5 mm LC-Platte (Fa. Synthes, Solothurn, Schweiz) auf 29,95 € bis 32,89 € (Stand: 05/ 2008) sowie für den Druckplattenfixateur „St. Georg“ (Fa. Link, Hamburg, Deutschland) auf 178,00 € bis 269,00 € (Stand 05/ 2008) jeweils je nach Länge der verwendeten Implantate. Mehrkosten, welche einer verlängerten Operationszeit bei additiver ventraler Instrumentierung geschuldet sind, können aufgrund fehlender Angaben im Folgenden nicht berücksichtigt werden. Nach Abschluss der Datenerhebung der vorliegenden Untersuchung wurde im Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie der Charité

(Berlin) die Verwendung des Druckplattenfixateurs „St. Georg“ eingestellt und im Rahmen der ventralen Instrumentierung mehrheitlich die LC-Platte (Fa. Synthes, Solothurn, Schweiz) verwendet. Angesichts der Implantatkosten einer kombinierten dorso-ventralen Versorgung von Wirbelsäulenverletzungen mit Fixateur interne und Korporektomie-Cage (USS, Fa. Synthes, Solothurn, Schweiz und VBR, Fa. Ulrich, Ulm, Deutschland) von ca. 5300,00 € erscheinen Mehrkosten von durchschnittlich 31,00 € als vernachlässigbarer Posten.

Niedrige Zusatzkosten und eine sehr geringe Komplikationsrate sprechen ebenso für den Einsatz ventraler Plattensysteme wie der radiologische Vorteil durch beschleunigte und höhere Fusionsraten. Eine gegebenenfalls indizierte Implantatentfernung des dorsalen Fixateurs interne hängt maßgeblich vom Grad der ventralen knöchernen Fusionierung ab. Eine möglichst frühzeitige dorsale Implantatentfernung geht nicht nur mit einer Verbesserung der subjektiven Lebensqualität des Patienten einher, sondern kann über die Freigabe von immobilisierten Bewegungssegmenten zu einer Senkung der Inzidenz von spondylotischen Beschwerden in den angrenzenden Wirbelsäulenabschnitten führen und somit sich hieraus gegebenenfalls ergebende Behandlungskosten einsparen.

## **5 Zusammenfassung**

In der vorliegenden Studie wurde der Einfluss einer additiven ventralen Plattenapplikation im Rahmen der kombinierten dorso-ventralen Versorgung von thorakolumbalen Wirbelsäulenverletzungen auf das klinische und radiologische Ergebnis in einem durchschnittlichen Nachuntersuchungszeitraum von 32 Monaten untersucht. Der Schwerpunkt der Arbeit lag hierbei auf der Auswertung des radiologischen Verlaufs.

In die Untersuchung wurden 75 Patienten mit thorakolumbalen Wirbelsäulenverletzungen aufgenommen, von denen alle Patienten einen Korporektomie-Cage (VBR, Ulrich, Ulm, Deutschland) und einen Fixateur interne (USS, Synthes, Solothurn, Schweiz) sowie 40 Patienten ein zusätzliches ventrales Plattensystem (Wolterdruckplattenfixateur, FA Link, Hamburg, Deutschland und LC-Platte, FA Synthes, Solothurn, Schweiz) erhielten. Ausgewertet wurden epidemiologische, peri- und intraoperative Daten aus Aufnahmeprotokollen, Operationsberichten und ärztlichen Entlassungsbriefen, konventionelle und computertomographische Röntgenaufnahmen, klinische Nachuntersuchungsbefunde sowie subjektive Angaben der Patienten zu den operationsbedingten Schmerzresiduen. Durch den Vergleich von Untergruppen konnte der Einfluss einer zusätzlichen

ventralen Instrumentierung auch hinsichtlich sehr spezifischer Fragestellungen, wie z.B. der Bedeutung des Verletzungstyps oder des Plattendesigns, untersucht werden. Es bestanden keine signifikanten Unterschiede zwischen der Gruppe mit Platte und der Gruppe ohne Platte hinsichtlich der wichtigsten epidemiologischen, peri- und intraoperativen Merkmale. Erwartungsgemäß zeigten sich auch bezüglich des postoperativen neurologischen Verlaufs, des klinischen Nachuntersuchungsbefundes und der subjektiven Angaben zu Schmerzresiduen keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen. Eine additive ventrale Plattenapplikation konnte den postoperativen Korrekturverlust nicht verhindern. Weder in den Gruppen der A-, B- oder C-Verletzungen noch bei der getrennten Betrachtung von Verletzungen der Brust- und Lendenwirbelsäule ließ sich ein Vorteil durch die Plattenaugmentation erkennen. Das Design der beiden untersuchten winkelstabilen Modelle hatte keinen Einfluss auf den radiologischen Verlauf. Die Ergebnisse zeigen eine gute Vergleichbarkeit mit den Angaben in der Literatur.

Signifikante Unterschiede zeigten sich hingegen beim Verlauf der knöchernen Fusion. In der Gruppe mit Platte lag nach durchschnittlich zwölf Monaten der Anteil der komplett fusionierten Segmente signifikant höher als in der Gruppe ohne Platte ( $p < 0,05$ ). Nach durchschnittlich 32 Monaten wurde dieser Unterschied noch deutlicher ( $p < 0,001$ ). Eine additive Plattenapplikation scheint demnach, den Fusionsverlauf zu beschleunigen. 94% der komplett fusionierten Segmente in der Gruppe mit zusätzlicher Instrumentierung zeigten eine kontinuierliche knöchernen Spangenbildung in direkter örtlicher Beziehung zu der Platte, während bei 33% der Patienten ohne Platte das gesamte Segment von durchgehenden Spongiosastraßen überbrückt wurde. Diese Ergebnisse wurden auf die verbesserten Bedingungen für eine Inkorporation des Spongiosatransplantates aufgrund 1. der Erhöhung der Primärstabilität und 2. eines protektiven Effektes der Platte für die angelagerten Spongiosastraßen zurückgeführt. Die Befürchtung, eine Zunahme der Konstruktrigidität könnte über ein vermehrtes „stress-shielding“ zu einer Beeinträchtigung des Fusionsergebnisses führen, ließ sich für den Nachuntersuchungszeitraum von durchschnittlich 32 Monaten nicht bestätigen. Es wurden keine spezifische Komplikationen im Zusammenhang mit den ventralen Plattensystemen dokumentiert, so dass an dieser Stelle die additive ventrale Plattenapplikation im Rahmen der Rekonstruktion der vorderen Säule bei thorakolumbalen Wirbelsäulenverletzungen als geeignetes Vorgehen zur Beschleunigung der ventralen Fusion empfohlen werden kann.

Zur Beurteilung der knöchernen Fusion hat sich die Analyse computertomographischer

Aufnahmen mit den strengen Fusionskriterien als ein sehr zuverlässiges Verfahren erwiesen. Die angewandte Methode sollte deshalb als zukünftiges Standardverfahren zur Beurteilung des ventralen Fusionsstatus bei mit Cage versorgten Frakturen der thorakolumbalen Wirbelsäule verwendet werden. Dank der guten morphologischen Darstellung des Fusionsverlaufes in der Computertomographie ließ sich nachweisen, dass die knöchernen Durchbauung des Cage-Inneren zeitlich vor der Überbrückung des Segmentes durch laterale Knochenspangen steht.

## Literaturverzeichnis

- 1 Whitesides TE [1977] **Traumatic kyphosis of the thoracolumbar spine.** Clin Orthop 128: 78-92
- 2 Tscherne H, Blauth M [1998] **Grundlagen der Wirbelsäulentraumatologie.** In Tscherne H, Blauth M (Hrsg.) Tscherne Unfallchirurgie – Wirbelsäule; 1.Aufl., Springer, Berlin, Heidelberg, New York: 1-59
- 3 Denis F [1983] **The three column spine and its significance in the classification of acute thoracolumbar injuries.** Spine 8: 817-831
- 4 Bühren V [2003] **Verletzungen der Brust- und Lendenwirbelsäule.** Unfallchirurg 106: 55-69
- 5 Rohen JW [1973] **Bewegungsapparat des Rumpfes.** In Rohen JW (Hrsg.) Funktionelle Anatomie des Menschen; 9.Aufl., Schattauer, Stuttgart, New York: 39-66
- 6 Junghanns H [1955] **Wirbelsäule.** In Bürkle de la Camp H, Rostock P (Hrsg.) Handbuch der gesamten Unfallchirurgie – Band 2; 9.Aufl., Enke, Stuttgart: 520-564
- 7 Nicoll EA [1949] **Fractures of the dorso-lumbar spine.** J. Bone Joint Surg (Br) 31: 376-394
- 8 Holdsworth F [1970] **Fractures, dislocations and fracture-dislocations of the spine.** J. Bone Joint Surg (Am) 52[8]: 1534-1551
- 9 Magerl F, Aebi M, Gertzbein SD, Harms J, Nazarian S [1994] **A comprehensive classification of the thoracic and lumbar spine.** Eur Spine J 3: 184-201
- 10 White AA, Panjabi MM [1990] **Kinematics of the spine.** In White AA, Panjabi MM (eds) Clinical biomechanics of the spine, Lippincott, Philadelphia: 85-125
- 11 White AA, Panjabi MM [1990] **The problem of clinical instability in the human spine: A systematic approach.** In White AA, Panjabi MM (eds) Clinical biomechanics of the spine, Lippincott: 277-378
- 12 Panjabi MM, Kifune M, Liu W, Arad M, Vasavada A, Oxland TR [1998] **Graded thoracolumbar spine injuries: development of multidirectional instability.** Eur Spine J 7: 332-339
- 13 Dickson JH, Harrington PR, Wendell DE [1978] **Result of reduction and stabilization of the severely fractured thoracic and lumbar spine.** J Bone Joint Surg (Am) 60[6]: 799-805
- 14 Rudig L, Wilke HJ, Claes LE, Degreif J [1999] **Das traumatisierte Bewegungssegment nach instabilen thorakolumbalen Wirbelfrakturen – eine klinisch-experimentelle In-vivo Studie zur Segmentstabilität.** Hefte Unfallchir 271: 43-51
- 15 Bastian L, Knop C, Kulhawy U, Blauth M [1999] **Biomechanische Untersuchungen knöcherner und diskoligamentärer Verletzungen der thorakolumbalen Wirbelsäule.** Hefte Unfallchir 271: 78-98
- 16 Gurr KR, Mc Affee PC, Shih C-M [1988] **Biomechanical analysis of anterior and posterior instrumentation systems after corpectomy.** J Bone Joint Surg (Am) 70-A: 1182-1191
- 17 Lob A [1954] **Die Wirbelsäulenverletzung und ihre Ausheilung.** In Lob A (Hrsg) Die Wirbelsäulenverletzung und ihre Ausheilung, Thieme, Stuttgart: 178-197
- 18 McAfee PC [1983] **The value of computed tomography in thoracolumbar fractures. An analysis of one hundred consecutive cases and a new classification.** J Bone Joint Surg (Am) 65: 461-479



- 19 Wenda K, Hachenberger R, Thiem N [1999] **MR-Tomographie nach dorsaler Instrumentation von thorakolumbalen Frakturen mit Titanimplantaten – Entscheidungsgrundlage für die Notwendigkeit der ventralen Fusion.** Hefte Unfallchir 271: 91-109
- 20 Eysel P, Hopf C, Fürderer S [2001] **Kyphotische Deformierungen bei Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule.** Orthopäde 30: 955-964
- 21 v. Gumpfenberg Vieweg J, Ciaudi J, Harms J [1991] **Die primäre Versorgung der frischen Verletzung von Brust- und Lendenwirbelsäule.** Aktuel Taumatol 21: 265-273
- 22 Eysel P, Rompe JD, Hopf C, Meinig G [1994] **Die Bedeutung der Bandscheibe für den Repositionsverlust operativ stabiler Frakturen der Rumpfwirbelsäule.** Unfallchirurg 97: 451-457
- 23 Fürderer S, Wenda K, Thiem N, hachenberger R, Eysel P [2001] **Traumatic intervertebral disc lesion – magnetic resonance imaging as a criterion for or against intervertebral fusion.** Eur Spine J 10[2]: 154-163
- 24 Knop C, Blauth M, Bühren V, Hax P-M et al [1999] **Operative Behandlung von Verletzungen des thorakolumbalen Übergangs – Teil 1: Epidemiologie.** Unfallchirurg 102: 923-935
- 25 Liener UC, Gebhard F, Kinzl L [1999] **Unfallchirurgie 2020 – Entwicklungen der Vergangenheit – Herausforderungen und Perspektiven der Zukunft Teil 1: Unfallchirurgische Versorgung.** Unfallchirurg 102: 413-420
- 26 Denis F, Armstrong GW, Searls K, Matta L [1984] **Acute thoracolumbar burst fractures in the absence of neurologic deficit. A comparison between operative and nonoperative treatment.** Clin Orthop 189: 142-149
- 27 Blauth M, Knop C, Bastian L [1998] **4. Brust- und Lendenwirbelsäule.** In Tscherne H, Blauth M (Hrsg.) Tscherne Unfallchirurgie – Wirbelsäule; Springer, Berlin, Heidelberg: 241-372
- 28 Weinstein JN, Collatto P, Lehmann TR [1988] **Thoracolumbar „Burst“ fractures treated conservatively. A long-term follow-up.** Spine 13[1]: 33-39
- 29 Haas NP, Schnake KJ, Kandziora F [2003] **Aktueller Stellenwert der Reposition frischer Wirbelkompressionsfrakturen in Lokalanästhesie.** Chirurg
- 30 Kluger P, Gerner HJ [1986] **Das mechanische Prinzip des Fixateur externe zur dorsalen Stabilisierung der Brust- und Lendenwirbelsäulenfrakturen.** Unfallchirurgie 12[2]: 68-79
- 31 Dick W, Kluger P, Magerl F, Wörnsdorfer O, Zach G [1985] **A new device for internal fixation of thoracolumbar and lumbar spine fractures: 'the fixateur interne'.** Paraplegia 23[4]: 225-232
- 32 Haas NP, Blauth M, Tscherne H [1991] **Anterior plating in thoracolumbar spine injuries. Indication, technique and results.** Spine 16: 100-111
- 33 Bohlman HH, Eismont FJ [1981] **Surgical techniques of anterior decompression and fusion for spinal cord injuries.** Clin Orthop 154: 57-67
- 34 Kaneda K, Taneichi H, Abumi K, Hashimoto T, Satoh S, Fujiya M [1997] **Anterior decompression and stabilisation with the Kaneda device for thoracolumbar burst fractures associated with neurologic deficits.** J Bone Joint Surg (Am) 79: 69-81
- 35 Been HD [1991] **Anterior decompression and stabilisation of thoracolumbar burst fractures by the use of the Slot-Zielke device.** Spine 16[1]: 70-77
- 36 Kandziora F, Schnake KJ, Klostermann CK, Haas NP [2004] **Wirbelkörperersatz in der Wirbelsäulen Chirurgie.** Unfallchirurg 107[5]:354-371

- 37 Le Huec JC, Liu M, Skalli W, Josse L [2002] **Lumbar lateral interbody cage with plate augmentation: in-vitro biomechanical analysis.** Eur Spine J 11: 130-136
- 38 Lange U, Knop C, Bastian L, Blauth M [2003] **Prospective multicenter study with a new implant for thoracolumbar vertebral body replacement.** Arch Ortop and Trauma Surg 123[5]: 203-208
- 39 Oxland TR, Lund T [2000] **Biomchanics of stand-alone cages and cages in combination with posterior fixation: a literature review.** Eur Spine J 9[1]: 95-101
- 40 Singewald M, Janzen W, Schlangmann B, Raible M [1999] **Minimal-invasive Verfahren bei Stabilisierung und Fusion thorakolumbalen Frakturen.** Unfallchir 271: 237-249
- 41 Beisse R, Potulski M, Temme C, Bühren V [1998] **Das endoskopisch kontrollierte Zwerchfellsplitting – ein minimal-invasiver Zugang zur ventralen Versorgung thorakolumbalen Frakturen der Wirbelsäule.** Unfallchirurg 101: 619-627
- 42 Beck E [1980] **Konservative Behandlung von Frakturen und Luxationen von Thorax- und Lendenwirbelsäule.** Hefte Unfallheilkd 149: 119-128
- 43 Roy-Camille R, Saillant G, Marie-Anne S, Mamoudy P [1980] **Behandlung von Wirbelfrakturen und-luxationen am thorakolumbalen Übergang.** Orthopäde 9[1]: 63-69
- 44 Plaue R [1972] **Das Frakturverhalten von Brust- und Lendenwirbelkörpern. 2. Mitteilung: Kompressionsversuche an frischen Leichenwirbeln.** Z Ortop 110: 357-362
- 45 Reid DC, Hu R, Davis LA, Saboe LA [1988] **The non-operative treatment of burst fractures of the thoracolumbar junction.** J Trauma 28[8]: 1188-1194
- 46 Reinhold M, Knop C, Lange U, Bastian L, Blauth M [2003] **Nichtoperative Behandlung von Verletzungen der thorakolumbalen Wirbelsäule – Klinische Spätergebnisse nach 16 Jahren.** Unfallchirurg 106[7]: 566-576
- 47 Steindl A, Schuh G [1992] **Spätergebnisse nach Lendenwirbelfrakturen mit konservativer Behandlung nach Lorenz Böhler.** Unfallchirurg 95: 439-444
- 48 Karjalainen M, Aho AJ, Katevou K [1991] **Painful spine after fracture of the thoracic and lumbar spine: What benefit of the use of extension brace?.** Ann Chir Gynaecol 80[1]: 45-48
- 49 Harrington RM, Budorick T, Hoyt J, Anderson PA, Tencer AF [1993] **Biomechanics of indirect reduction of bone retracted into the spinal canal in vertebral fractures.** Spine 18: 692-699
- 50 Eysel P, Meinig G, Sanner F [1991] **Vergleichende Untersuchung unterschiedlicher dorsaler Stabilisierungsverfahren bei frischen Frakturen der Rumpfwirbelsäule.** Unfallchirurgie 17: 264-273
- 51 Knop C, Blauth M, Bühren V, Hax P-M et al [2000] **Operative Behandlung von Verletzungen des thorakolumbalen Übergangs – Teil 2: Operationen und röntgenologische Befunde.** Unfallchirurg 103: 1032-1047
- 52 Bertram R, Bessem O, Wagner U, Schmitt O [2003] **Vergleich von dorso-lateralen mit dorso-ventralen Stabilisierungsverfahren in der Behandlung von Wirbelsäulenfrakturen.** Z Orthop Ihre Grenzgeb: 573-577
- 53 Harrington PR [1962] **Treatment of scoliosis. Correction and internal fixation by spine instrumentation.** Am J Orthop 44(A) 591-610
- 54 Wiesner L, Kothe R, Ruther W [1999] **Anatomic evaluation of two different techniques for the percutaneous insertion of pedicle screws in the lumbar spine.** Spine 24[15]: 1599-1603

- 55 Aebi M, Etter C, Kehl T, Thalgot J [1987] **Stabilization of the lower thoracic and lumbar spine with the internal spinal skeletal fixation system. Indications, techniques and first results of treatment.** Spine 12: 544-551
- 56 Been HD, Bouma GJ [1999] **Comparison of two types of surgery for thoraco-lumbar burst fractures: combined anterior and posterior stabilization vs. posterior instrumentation only.** Acta Neurochir Wien 141: 349-357
- 57 Gertzbein SD, Macmichael D [1982] **Harrington instrumentation as a method of fixation in fractures of the spine.** J Bone Joint Surg (Br) 64[5]: 526-529
- 58 Knop C, Blauth M, Bastian L, Lange U, Kesting J, Tscherne H [1997] **Frakturen der thorakolumbalen Wirbelsäule: Spätergebnisse nach dorsaler Instrumentierung und ihre Konsequenzen.** Unfallchirurg 100: 630-639
- 59 Daniaux H [1986] **Transpedikuläre Reposition und Spongiosaplastik bei Wirbelkörperbrüchen der unteren Brust- und Lendenwirbelsäule.** Unfallchirurg 89: 197-213
- 60 Zdeblick TA, Warden KE, Zou D, Mc Affee PC, Abitbol JJ [1993] **Anterior spinal fixators – A biomachanical in-vitro study.** Spine 18[4]: 513-517
- 61 Knop C, Blauth M, Bastan L, Tscherne H [1999] **Transpedikuläre Spongiosaplastik bei Frakturen des thorakolumbalen Übergangs – klinische, röntgenologische und computertomograpische Spätergebnisse.** Hefte Unfallchir 271: 107-117
- 62 Benzel EC, Larson SJ [1986] **Functional recovery after decompressive operation for thoracic and lumbar spine fractures.** Neurosurg 19[5]: 772-778
- 63 Feil J, Wörsdorfer O [1992] **Ventrale Stabilisierung im Bereich der Brust- und Lendenwirbelsäule.** Chirurg 63: 856-865
- 64 Kaden B, Koch W, Varchmin-Schultheiss K, Wunsch M, Fuhrmann G [1996] **Biomachanic studies of transthoracic vertebral body replacement with autologous bone grafts (fibula and rib).** Neurosurg Rev. 19[1]: 17-21
- 65 Loon JL, Slot G, Pavlov P [1996] **Anterior instrumentation of the spine in thoracic and thoracolumbar fractures: the single rod vs. the double rod Slot-Zielke device.** Spine 21: 734-739
- 66 Ghanayem A, Zdeblick T [1997] **Anterior instrumentation in the management of thoracolumbar burst fractures.** Clin Orthop 1[335]: 89-100
- 67 Brodke D, Gollogly S, Bachus K, Mohr A, Nguyen BK [2003] **Anterior thoracolumbar instrumentation: stiffness and load sharing characteristics of plate and rod systems.** Spine 28: 1794-1801
- 68 Kostuik JP [1983] **Anterior spinal chord decompression for lesions of the thoracic and lumbar spine: techniques, new methods of internal fixation results.** Spine 8[5]: 512-531
- 69 Kaneda K, Abumi K, Fujiya M [1984] **Burst fractures with neurologic deficits of the thoracolumbar spine – results of anterior decompression and stabilzattion with anterior instrumentation.** Spine 9[8]: 788-795
- 70 Knop C, Blauth M, Bühren V, Hax P-M et al [2001] **Operative Behandlung von Verletzungen des thorakolumbalen Übergangs. Teil 3: Nachuntersuchungen.** Unfallchirurg 104: 583-600
- 71 Kossmann T, Ertel W, Platz A, Trentz O [1999] **The combined operation for fractures of the thoracolumbar junction with the inlay span technique.** Orthopäde 28: 432-440
- 72 Goulet JA, Senunas LE, De Silva GL, Greenfield ML [1997] **Autogenous iliac crest bone graft. Complication and functional assesment.** Clin Orthop 1[399]: 76-81

- 73 Arrington ED, Smith WJ, Chambers HG, Bucknell AL, Davino NA [1996] **Complications of iliac crest bone harvesting.** Clin Orthop 1[329]: 300-309
- 74 Togawa D, Bauer TW, Lieberman IH, Sakai H [2004] **Lumbar intervertebral body fusion cages: histological evaluation of clinically failed cages retrieved from humans.** J Bone Joint Surg (Am) 86: 70-79
- 75 Kandziora F, Pflugmacher R, Schaefer J, Scholz M, Ludwig K, Schleicher P, Haas NP [1999] **Biomechanical comparison of expandable cages for vertebral body replacement in the cervical spine.** J Neurosurg (Spine) 99: 91-97
- 76 Blauth M, Knop C, Bastian L, Lobenhoffer P [1997] **Neue Entwicklungen in der Chirurgie der verletzten Wirbelsäule.** Orthopäde 26: 437-449
- 77 Kandziora F, Schollmeier G, Scholz M, Schaefer J, Scholz A, Schmidmaier G, Schröder R, Bail H, Duda G, Mittlmeier T, Haas NP [2002] **Influence of cage design on interbody fusion in a sheep cervical spine model.** Spine 98: 321-332
- 78 Jost B, Crompton PA, Lund T, Oxland TR, Lippuner K, Jaeger P, Nolte LP [1998] **Compressive strength of interbody cages in the lumbar spine: the effect of cage shape, posterior instrumentation and bone density.** Eur Spine J 7[2]: 132-141
- 79 Morlock M, Strandborg J, Sellenschloh K, Nassult R, Püschel K, Eggers C [2002] **Vergleich unterschiedlicher Wirbelkörperersatzsysteme hinsichtlich Migration und Primärstabilität bei dorsoventraler Spondylodese nach Korporektomie mit und ohne Laminektomie.** Orthopäde 31: 514-521
- 80 Kanayama M, Cunningham BW, Haggerty CJ, Abumi K, Kaneda K, Mc Affee PC [2000] **In vitro biomechanical investigation of the stability and stress-shielding effect of lumbar interbody fusion devices.** J Neurosurg (Spine) 93[2 Suppl]: 259-265
- 81 Vahldiek M, Panjabi MM, Gossé F, Westermann K [1999] **Multidirektionale Stabilität der Wirbelsäule nach anteriorer lumbaler interkorporeller Fusio (ALIF) – biomechanische Untersuchung eines neuen Kohlefaserimplantats.** Hefte Unfallchir 271: 58-71
- 82 Grupp TM, Beisse R, Potulski M, Marnay T, Beger J, Blömer W [2002] **Mechanische Testung der Implantateigenschafteneines thorakoskopisch implantierbaren Wirbelstabilisierungssystems.** Orthopäde 31: 406-412
- 83 Beisse R, Potulski M, Beger J, Bühren V [2002] **Entwicklung und klinischer Einsatz einer thorakoskopisch implantierbaren Rahmenplatte zur Behandlung thorakolumbalen Frakturen und Instabilitäten.** Orthopäde 31: 413-422
- 84 Schultheiss M, Wilke HJ, Kinzl L, Hartwig E [2002] **MACS-TL-Polyaxialscrew XL – ein neues Konzept zur Stabilitätserhöhung ventraler Spondylodesen in Anwesenheit dorsaler Verletzungen.** Orthopäde 31 397-401
- 85 Blauth M, Tscherné J, Gotzen L, Haas NP [1987] **Ergebnisse verschiedener Operationsverfahren zur Behandlung frischer Brust- und Lendenwirbelsäulenverletzungen.** Unfallchirurg 90: 260-273
- 86 Böhm H, Harms J, Donk R, Zielke K [1990] **Correction and stabilization of angular kyphosis.** Clin Orthop 1 [258]: 56-61
- 87 Defino HLA, Rodriguez-Fuentes AE [1998] **Treatment of fractures of the thoracolumbar spine by combined anteroposterior fixation using the Harms method.** Eur Spine J 7: 187-194
- 88 Esses SI, Botsford DJ, Wright T, Bednar D, Bailey S [1991] **Operative treatment of spinal fractures with the AO internal fixator.** Spine 16: 146-150

- 89 Panjabi MM, Goel VK, Takata K [1982] **Physiological strains in the lumbar spinal ligaments. An in-vitro biomechanical study. 1981 Volvo awards in biomechanics.** Spine 7: 192-203
- 90 Bernhardt M, Bridwell KH [1989] **Segmental analysis of the sagittal plane alignment of the normal thoracic and lumbar spines and thoracolumbar junction.** Spine 14: 717-721
- 91 Gelb DE, Lenke LG, Bridwell KH, Blanke K, Mc Eney KW [1995] **An analysis of sagittal spinal alignment in 100 asymptomatic middle and older aged volunteers.** Spine 20: 1351-1358
- 92 Neumann P, Wang Y, Kärrholm J, Malchau H, Nordwall A [1999] **Determination of inter-spinous process distance in the lumbar spine.** Eur Spine J 8: 272-278
- 93 Okuyama K, Abe E, Chiba M, Ishikawa N, Sato K [1996] **Outcome of anterior decompression and stabilization for thoracolumbar unstable burst fractures in the of neurologic deficits.** Spine 21[5] : 620-625
- 94 Moll S, Schindler G, Weckbach A [2002] **Beurteilung der ventralen Stabilisierungstechniken thorakolumbalen Wirbelsäulenverletzungen mit Hilfe der Computertomographie.** RoFo Fortschr Geb Röntgenstr:880-886
- 95 Brodke D, Dick JC, Kunz DN, Mc Cabe R, Zdeblick TA [1997] **Posterior lumbar interbody fusion: a biomechanical comparison, including a new threaded cage.** Spine 22[1]: 26-31
- 96 Wolter D, Kortmann H-R [1992] **Transpediculäre Spondylodese der Brust- und Lendenwirbelsäulenverletzung.** Chirurg 63: 866-874
- 97 American Spinal Injuries Association, ASIA Classification [1997] **Standards for neurological and functional classification of spinal cord injury.** Chicago, Illinois, USA
- 98 Frankel HL, Hancock DO, Hyslop G et al [1969] **The value of postural reduction in the initial management of closed injuries of the spine with paraplegia and tetraplegia.** Paraplegia 7: 179-192
- 99 Rüedi T et al [2000] **AO/ ASIF Principles of fracture management** In Rüedi T (Hrsg.) Principles of fracture management, Thieme, Stuttgart : 64-81
- 100 Tepic S, Perren SM [1995] **PC-Fix** Injury 26[2]: 312-318
- 101 Kregor P, Perren SM [2001] **Distal femoral fracture fixation utilizing the Less Invasive Stabilization System (L.I.S.S.): the technique and early results.** Injury 32[3]: 32-47
- 102 Black RC, Gardner MD, Armstrong GWD, O'Neil J, St. George M [1987] **A contoured anterior spinal fixation plate.** Clin Orthop (Am) 227: 136-142
- 103 Hansen A, Yuan MD, Mann KA, Found EM, Helbig TE, Fredrickson, BE, Lubicky JP, Albanese SA, Winfield JA, Hodge CJ [1987] **Early clinical experience with the Syracuse I-plate: an anterior spinal fixation device.** Spine 13[3]: 278-285
- 104 Lowery GL, Harms J [1996] **Titanium surgical mesh for vertebral defect replacement and intervertebral spacers.** In Thalgott JS, Aebi M (Hrsg.) Manual of internal fixation of the spine. Lippincott-Raven, Philadelphia: 127-146
- 105 Alici, E, Alkut OZ, Dost S [1990] **Prostheses designed for vertebral body replacement.** J Biomechanics 23[8]: 799-809
- 106 Mutschler W, Wörnsdörfer O, Schulte M [1993] **Tumoresektionen und rekonstruktive Eingriffe bei Wirbelsäulentumoren.** Orthopäde 22: 189-199
- 107 Polster J, Brinckmann P [1977] **Ein Wirbelkörperimplantat zur Verwendung bei Palliativoperationen an der Wirbelsäule.** Z. Orthop 115: 118-122

- 108 Ulrich, C [1998] **Muss eine geschädigte Bandscheibe fusioniert werden? – Pro.** Hefte „Der Unfallchirurg“, 271: 30-33
- 109 Harris, MB, Thomas KA, Igram CM, Bearden CM [1996] **The effect of anterior thoracolumbar plate application on the compressive loading of the strut graft.** Spine 21[13]: 1487-1493
- 110 Vahldiek MJ, Panjabi MM [1998] **Stability potential of spinal instrumentations in tumor vertebral body replacement surgery.** Spine 23[5]: 543-550
- 111 Magerl FP [1984] **Stabilization of the lower thoracic and lumbar spine with external skeletal fixation.** Clin Orthop 189: 125-141
- 112 Vieweg U, Sölch O, Kalf R [2003] **Wirbelkörperersatzsystem Synex bei instabilen Burstfrakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule – eine retrospektive Studie bei 30 Patienten.** Zentralbl Neurochir 64: 58-64
- 113 Lange U, Knop C, Bastian L, Blauth M [2002] **Wirbelkörperersatz mit Synex TM – Ergebnisse einer prospektiven, multizentrischen Dokumentationsserie mit 126 Patienten.** Akt Traumatol 32: 1-7
- 114 Stoltze D, Harms J [1998] **Kombinierte Stabilisationsverfahren an der thorako-lumbalen Wirbelsäule.** Osteosynthese International 6: 157-172
- 115 Dick W [1992] **Fixateur externe. State of the art reviews.** Spine 6: 147-172
- 116 Beisse R [2006] **Endoscopic surgery on the thoracolumbar junction of the spine.** Eur Spine J 15:687-704
- 117 Kim DH, Jahng T, Balabhadra RS, Potulski M, Beisse R [2004] **Thoracoscopic transdiaphragmatic approach to thoracolumbar junction fractures.** Spine 4: 317-328
- 118 Rampersand YR, Annand N, Dekutoski MB [2006] **Use of minimally invasive techniques in the management of thoracolumbar trauma: current concepts.** Spine 31 [11]: 96-102
- 119 Stagnara P, De Mauroy JC, Drab G [1982] **Reciprocal angulation of vertebral bodies in a sagittal plane : approach to references for the evaluation of kyphosis and lordosis.** Spine 7: 335-342
- 120 Chow DHK, Luk KD, Evans JH, Leong J [1996] **Effects of short anterior lumbar interbody fusion on biomechanics of neighboring unfused segments.** Spine 21[5]: 549-555
- 121 Brant-Zawadzki M, Miller EM, Federle MP [1981] **CT in the evaluation of spine trauma** Amer J Radiol 136: 369-375
- 122 Hauser CJ, Visvikis G, Hinrichs C, Eber CD, Cho K, Lavery RF, Livingston DH [2003] **Prospected validation of computed tomographic screening of the thoracolumbar spine in trauma.** J Trauma 55[2]: 228-234
- 123 Antevil JL, Sise MJ, Sack DI, Kidder B, Hopper A, Brown CV [2006] **Spiral computed tomography for the initial evaluation of spine trauma: A new standart care?** J Trauma 61 [2]: 382-407
- 124 Gertzbein SD [1992] **Scoliosis research society. Multicenter spine fracture study.** Spine 17: 528-540
- 125 Verlaan JJ, Diekerhof CH, Buskens E, van der Tweel I, Verbout A, Dhert WJA, Oner FC [2004] **Surgical treatment of traumatic fractures of the thoracic and lumbar spine: a systematic review of the literature on techniques, complications and outcome.** Spine 29[7]: 803-814
- 126 McAfee PC, Yuan HA, Lasda NA [1982] **The unstable burst fracture.** Spine 7: 365-374

- 127 Bhat AL, Lowery GL, Sei A [1999] **The use of titanium surgical mesh-bone graft composite in the anterior thoracic or lumbar spine after complete or partial corpectomy.** Eur Spine J 8: 304-309
- 128 Schnee CL, Ansell LV [1997] **Selection criteria and outcome of operative approaches for thoracolumbar burst fractures with and without neurological deficit.** J Neurosurg 86: 48-55
- 129 Shono Y, Mc Affee P, Cunningham BW [1994] **Experimental study of thoracolumbar burst fractures. A radiographic and biomechanical analysis of anterior and posterior instrumentation systems.** Spine 19[15]: 1711-1722
- 130 Payer M [2006] **unstable burst fractures of the thoraco-lumbar junction: treatment by posterior bisegmental correction/ fixation and staged anterior corpectomy and titanium cage implantation.** Acta Neurochir (Wien) 148[3]: 299-306
- 131 Danisa OA, Shaffrey CI, Jane JA, Whitehill R, Wang GJ, Szabo TA, Hansen CA, Shaffrey ME, Chan DPK [1995] **Surgical approaches for the correction of unstable thoracolumbar burst fractures: a retrospective analysis of treatment outcomes.** J Neurosurg 83: 977-983
- 132 Leferink VJM, Zimmermann KW, Veldhuis EFM, Ten Verger EM, Ten Duis HJ [2001] **Thoracolumbar spine fractures: radiological results of transpedicular fixation combined with transpedicular cancellous bone graft and posterior fusion in 183 patients.** Eur Spine J 10: 517-523
- 133 Yosipovitch Z, Robin GC, Makin M [1977] **Open reduction of unstable thoracolumbar spinal injuries and fixation with Harrington rods.** J Bone Joint Surg (Am) 59-A: 1003-1015.
- 134 Keynan O, Fisher CG, Vaccaro A, Fehlings MG, Oner FC, Dietz J, Kwon B, Rampersaud R, Bono C, France J, Dvorak M [2006] **Radiographic measurement parameters in thoracolumbar fractures: a systematic review and consensus statement of spine trauma study group.** Spine 31[5]: 156-65
- 135 Kuklo TR, Polly DW, Owens BD, Zeidman SM, Chang AS, Klemme DR [2001] **Measurement of thoracic and lumbar fracture kyphosis: evaluation of intraobserver, interobserver and technique variability.** Spine 26[1]: 61-65
- 136 Seel EH, Verrill CL, Mehta RL, Davies EM [2005] **Measurement of fracture kyphosis with the xfor-Cobbometer: intra- and interobserver reliabilities and comparison with other techniques.** Spine 30[8]: 964-964
- 137 Adam CJ, Izatt MT, Harvey JR, Askin GN [2005] **Variability in Cobb angle measurements using reformatted computerized tomography scans.** Spine 30[14]: 1664-1669
- 138 Togawa D, Bauer TW, Brantigan JW, Lowery GL [2001] **Bone graft incorporation in radiographically successful human intervertebral body fusion cages.** Spine 26[24]: 2744-2750
- 139 McAfee PC [1991] **Interbody fusion cages in reconstructive operations on the spine.** J Bone Joint Surg (Am) 81: 190-191
- 140 Barsa P, Suchomel P [2007] **Factors affecting sagittal malalignment due to cage subsidence in standalone cage assisted anterior cervical fusion.** (Epub ahead of print)
- 140 Steffen T, Tsantrizos A, Aebi M [2000] **Effect of implant design and endplate preparation on compressive strength of interbody fusion constructs.** Spine 2000 25[9]: 1077-1084
- 141 Reinhold M, Schmlz W, Canto F, Krappinger D, Blauth M, Knop C [2007] **An improved vertebral body replacement for the thoracolumbar spine: a biomechanical in vitro test for human lumbar vertebral bodies.** Unfallchirurg 110[4]: 327-333
- 142 Eck KR, Leke LG, Bridwell KH, Gilula LA, Lashgari CJ, Riew KD [2000] **Radiographic assessment of anterior titanium mesh cages.** J Spinal Disord. 13[6]: 501-510

- 143 Gercek E, Arlet V, Delisle J, Marchesi D **Subsidence of stand-alone cervical cages in anterior interbody fusion: warning.** Eur Spine J. 12[5]: 513-516
- 144 Chen L, Yang H, Tang T [2005] **Cage migration in spondylolisthesis treated with posterior lumbar interbody fusion using BAK cages.** Spine 30[19]: 2171-2175
- 145 Schmieder K, Wolzik-Grossmann M, Pechlivanis I, Engelhard M, Scholz M, Harders A [2006] **Subsidence of the wing titanium cage after anterior interbody fusion: 2-year follow-up study.** J Neurosurg Spine 4[6]: 447-453
- 146 Kandziora F, Schollmeier G, Scholz M, Schaefer J, Scholz A, Schmidmaier G, Schröder R, Bail H, Duda G, Mittlmeier T, Haas NP [2002] **Influence of cage design on interbody fusion in a sheep cervical spine model.** J Neurosurg 96[3]: 321-332
- 147 Jost B, Crompton PA, Lund T, Oxland TR, Lippuner K, Jaeger P, Nolte LP [1998] **Compressive strength of interbody cages in the lumbar spine: the effect of cage shape, posterior instrumentation and bone density.** Eur Spine J. 7: 132-141
- 148 Robertson PA, Rawlinson HJ, Hadlow AT [2004] **Radiologic stability of titanium mesh cages for anterior spinal reconstruction following thoracolumbar corpectomy.** J Spinal Disord Tech. 17[1]: 44-52
- 149 Karaeminogullari O, Tezer M, Ozturk C, Bilen FE, Talu U, Hamzaoglu A [2005] **Radiological analysis of titanium mesh cages used after corpectomy in the thoracic and lumbar spine: minimum 3 years follow-up.** Acta Orthop Belg 71[6]: 726-731
- 150 Beck E, Böhler J [1980] **Die Verletzung der Wirbelsäule ohne Markschädigung. Chirurgie der Gegenwart.** Unfallchirurgie 4A:2-26
- 151 Garfin SR, Cohen MS, Massic JB, Abitboe JJ, Svenson MR, Myers RR, Rydevik BL [1990] **Nerve roots of the cauda equina.** J Bone Joint Surg (Am) 72: 1185-1192
- 152 Leyendecker K, Schirmer M [1986] **Traumatische Rückenmarksschädigung.** In Schirmer M (Hrsg): Querschnittslähmung. Berlin, Heidelberg: Springer
- 153 Been HD, Poolman RW, Ubags LH [2004] **Clinical outcome and radiographic results after surgery of post-traumatic thoracolumbar kyphosis following simple type A fractures.** Eur Spine J 13[2]: 101-107
- 154 Bernhardt M, Bridwell K [1989] **Segmental analysis of the sagittal plane alignment of the normal thoracic and lumbar spines and the thoracolumbar junction.** Spine 14[7]: 717-721
- 155 Eck KR, Bridwell KH, Ungacta F, Lapp M, Lenke L, Daniel R [2000] **Analysis of titanium mesh cages in adults with minimum two-year follow-up** J Spinal Disord Tech 25[18]: 2407-2415
- 156 Closkey RF, Parson JR, Lee CK [1993] **Mechanics of interbody spinal fusion. Analysis of critical bone graft area.** Spine 18[8]: 1011-1015
- 157 Hanson T, Roos B [1981] **The relation between bone mineral content, experimental compression fractures, and disc degeneration in lumbar vertebrae.** Spine 6[2]: 147-153
- 158 Reinhold M, Schmölz W, Canto F, Krappinger D, Blauth M, Knop C [2007] **Ein verbesserter Wirbelkörperersatz für die thorakolumbale Wirbelsäule.** Unfallchirurg 110: 327-333
- 159 Kandziora F, Schollmeier G, Scholz M, Schaefer J, Scholz A, Schmidmaier G, Schröder R, Bail H, Duda G, Mittlmeier T, Haas NP [2002] **Influence of cage design on interbody fusion in a sheep cervical spine model** J Neurosurg 96[3]: 321-332



- 160 Cunnungham BW, Orbegoso CM, Dmitriev AE, Hallab NJ, Seftor JC, McAfee PC [2004] **The effect of titanium particulate on development and maintenance of a posterolateral spinal arthrodesis: an in vivo rabbit model.** Spine 27[18]: 1971-1981
- 161 Zou X, Li H, Burger M, Egand N, Lind M, [2004] **Bone ingrowth characteristics of porous tantalum and carbon fiber interbody devices: an experimental study in pigs.** Spine J 4[1]: 99-105
- 162 De Riu G, De Riu N, Spano G, Pizzigallo A, Petrone G, Tullio A [2007] **Histology and stability study of cortical bone graft influence on titanium implants** Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 103[4]: 1-7
- 163 Kokubo T [2004] **Metallic materials stimulating bone formation.** Med J Malaysia
- 164 Papavero L, Zwonitzer R, Burkard I, Klose K, Herrmann HD [2002] **A composite bone graft substitute for anterior cervical fusion: assessment of osseointegration by quantitative computed tomography.** Spine 27[10]: 1037-1043
- 165 Gertzbein SD, Betz R, Clemets D, Errico T, Hammerberg K, Robbins S, Shepherd E, Weber A, Kerina M, Albin J, Wolk D, Ensor K [1996] **Semirigid instrumentation in the management of lumbar spinal conditions combined with circumferential fusio. A multicenter study.** Spine 21[16]: 1918-1925
- 166 McAfee PC, Farey ID, Sutterlin CE, Gurr KR, Warden KE, Cunningham BW [1989] **1989 Volvo Award in basic science. Device-related osteoporosis with spinal instrumentation.** Spine 14[9]: 919-926
- 167 Smith KR, Hunt TR, Asher MA, Anderson HC, Carson WL, Robinson RG [1991] **The effect of a stiff spinal implant on the bone-mineral content of the lumbar spine in dogs.** J Bone Joint Surg (Am.) 73[1]: 115-123
- 168 Dalenberg DD, Asher MA, Robinson RG, Jayaraman G [1993] **The effect of a stiff spinal implant and its loosening on bone mineral content in canines.** Spine 18[13]: 1862-1866
- 169 Debrunner Am [2002] **Vom Leben des Knochens.** In Debrunner AM (Hrsg.) Orthopädie/Orthopädische Chirurgie-Patientenorientierte Diagnostik und Therapie des Bewegungsapparates, Verlag Hans Huber, Bern, Göttingen, Toronto, Seattle: 48-60
- 170 Akeson WH, Woo SL, Rutherford L, Coutts RD, Gonsalves M, Amiel D [1976] **The effects of rigidity of internal fixation plates on long bone remodeling. A biomechanical and quantitative histological study.** Acta Orthop Scand 47[3]: 241-249
- 171 Moyon BJ, Lahey PJ Jr, Weinberg EH, Harris WH [1978] **Effects on intact femora of dogs of the application and removal of metal plates. A metabolic and structural study comparing stiffer and more flexible plates.** J Bone Joint Surg (A.) 60[7]: 940-947
- 172 Shirado O, Zdeblick TA, McAfee PC, Cunnungham BW, DeGroot H, Warden KE [1991] **Quantitative Histologic Study of the influence of anterior spinal instrumentation and biodegradable polymer on lumbar interbody fusion after corporectomy.** Spine 17[7]: 795-802
- 173 Kleiner JB, Odom JA, Moore MR, Wilson NA, Huffer WE [1995] **The effect of instrumentation on human fusion mass.** Spine 20[1]: 90-97
- 174 Johnston CE, Welch RD, Kelly JB, Ashman RB [1995] **Effect of spinal construct stiffness on short segment fusion mass incorporation.** Spine 20[22]: 2400-2407
- 175 Shapiro S, Conolly P, Donaldson J, Abel T [2001] **Cadaveric fibula, locking plate, and allogenic bone matrix for anterior cervical fusions after cervical discectomy for radiculopathy or myelopathy.** J Neurosurg. 95[1]: 43-50

- 176 Barsa P, Suchomel P, Buchvald P, Kolarova E, Svobodnik A [2004] **Multiple instrumented anterior cervical fusion: a risk factor for pseudarthrosis? A prospective study with a minimum of 3 year follow-up.** Acta Chir Orthop Traumatol Cech. 71[3]: 137-141
- 177 Kaiser MG, Haid RW, Subach BR, Barnes B, Rodts GE [2002] **Anterior cervical plating enhances arthrodesis after discectomy and fusion with cortical allograft.** Neurosurgery. 50[2]: 229-238
- 178 Bolesta MJ, Rehtine GR, Chrin AM [2002] **One- and two-level anterior cervical discectomy and fusion: the effect of plate fixation.** Spine J. 2[3]: 197-203
- 179 Wang JC, McDonough PW, Kanim LE, Endow KK, Delamarter RB [2001] **Increased fusion rates with cervical plating for three-level anterior cervical discectomy and fusion.** Spine 26[6]: 646-647
- 180 Böhler L [1972] **Konservative Behandlung von Brüchen der Brust- und Lendewirbelsäule.** Z Unfallmed Berufserkr 2: 100-104
- 181 Day B, Kokan P [1977] **Compression fractures of the thoracic and lumbar spine.** Clin Orthop Relat Res 124: 173-176
- 182 Feighan JE, Stevenson S, Emery SE [1995] **Biologic and biomechanic evaluation of posterior lumbar fusion in the rabbit. The effect of fixation rigidity.** Spine 20[14]: 1561-1567
- 183 McLain RF, Burkus JK, Benson DR [2001] **Segmental instrumentation for thoracic and thoracolumbar fractures.** Spine J 1[5]: 310-323
- 184 Fehlings MG, Tator CH [1999] **An evidence-based review of decompressive surgery in acute spinal cord injury: rationale, indications and timing based on experimental and clinical studies.** J Neurosurg (Spine 1) 91: 1-11
- 185 Clohisy, JC, Akbarnia BA, Bucholz RD, Burkus JK, Backer RJ [1992] **Neurologic recovery associated with anterior decompression of spine fractures at the thoracolumbar junction (T12-L1)** Spine 17[8]: 325-330
- 186 Böhler L [1932] **Die Behandlung der Wirbelbrüche.** Arch klin Chir 173: 842
- 187 Steffen T, Tsantrizos A, Fruth I, Aebi M [2000] **Cages: Designs and concepts.** Eur Spine J 9[1]: 89-94
- 188 Hegens MH, Esser SI [1991] **Classification of pseudarthrosis of the lumbar spine.** Spine 18: 10-1020
- 189 Steinmann JC, Herkowitz HN [1992] **Pseudarthrosis of the spine.** Clin Orthop 284 [7]: 80-90
- 190 Dvorak MF, Pitzen T, Zhu Q, Gordon JD, Fisher CG, Oxland TR [2005] **Anterior cervical plate fixation: a biomechanical study to evaluate the effects of plate design, endplate preparation, and bone mineral density.** Spine 30[3]: 294-301
- 191 Epstein NF [2003] **Anterior cervical dynamic ABC plating with single level corpectomy and fusion in forty-two patients.** Spine Cord. [2003] 41[3]:153-158
- 192 Brodke DS, Gollogly S, Mohr A, Ngyen BK, Dailey AT, Bachus AK [2001] **Dynamic cervical plates: biomechanical evaluation of load sharing and stiffness.** Spine 26[12]: 1324-1329
- 193 Goldberg VM, Stevenson S [1990] **Bone Transplantation.** In McCollister Evarts (Hrsg.) Surgery of the musculoskeletal system, Vol 1, Churchill Livingstone, New York, Edinburgh, London, Melbourne, 115-148

- 194 Debrunner AM [2002] **Degenerative Erkrankungen der Wirbelsäule.** In Debrunner AM (Hrsg.) Orthopädie/ Orthopädische Chirurgie-Patientenorientierte Diagnostik und Therapie des Bewegungsapparates, Verlag Hans Huber, Bern, Göttingen, Toronto, Seattle; 848-890
- 195 Chapman MW, Rodrigo JJ [2001] **Bone grafting, Bone graft, substitutes, and growth factors.** In Chapman MW (Hrsg.) Orthopaedic surgery, Vol 1, Lippincott Williams&Wilkins, Philadelphia, Baltimore, New York, London, Buenos Aires, Hong Kong, Sidney, Tokyo; 181-219
- 196 Porto Filho MR, Pastorello MT, Defino HL [2005] **Experimental study of the participation of the vertebral endplate in the integration of bone grafts.** Eur Spine J 14[10]. Epub 2005 Apr 21
- 197 Green AS, Aronson J, Paley D, Tetsworth KD, Taylor JC [2001] **Management of fractures, Non-Unions and Mal-Unions with Ilizarov Techniques.** In Chapman MW (Hrsg.) Orthopaedic surgery, Vol 1, Lippincott Williams&Wilkins, Philadelphia, Baltimore, New York, London, Buenos Aires, Hong Kong, Sidney, Tokyo; 1001-1111
- 198 Pilitsis JG, Lucas DR, Rengachary SS [2002] **Bone healing and spinal fusion.** Neurosurg Foc 13[6]:e1
- 199 Chao EY, Inoue N, Elias JJ, Aro H [1998] **Enhancement of fracture healing by mechanical and surgical intervention.** Clin Orthop Relat Res. [355Sppl.]: 163-178
- 200 Meschan I [1991] **Radiologie der Wirbelsäule.** In Meschan I, Farrer-Meschan RM (Hrsg.) Diagnostik und bildgebende Verfahren, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart; 26-46
- 201 Zaunbauer W [1974] **Röntgenanatomie der Wirbelsäule.** In Diethelm L (Hrsg.) Handbuch der medizinischen Radiologie - Röntgendiagnostik der Wirbelsäule, Springer, Berlin, Heidelberg, New York; 65-113
- 202 Moon MS, Moon YW, Kim SS, Moon JL [2006] **Morphological adaptation of the bone graft and fused bodies after non-instrumented anterior interbody fusion of the lower cervical spine.** J Orthop Surg 14 [3]: 303-309
- 203 Aaronson NK, Acquadro C, Alonso J, Apolone G, Bucquet D, Bullinger M, Bungay K, Fukuhara S, Gandek B, Keller S, et al. [1992] **International Quality of Life Assessment (IQOLA).** Qual Life Res 1[5]: 349-351
- 204 Fairbank JCT, Davies JB. [1980] **The Oswestry low back pain disability questionnaire.** Physiother 66: 271-273.
- 205 Schiestel H [1971] **Spätschäden der Wirbelsäule nach traumatischer Gibbusbildung.** Hefte Unfallheilkd 108: 182-184
- 206 Cook SD, Patrin LP, Petros MC, Bailey KJ, Banta C, Glazer P [2004] **Comparison of methods for determining the presence and extend of anterior lumbar interbody fusion.** Spine 29: 1118-1123
- 207 Douglas-Akinwande AC, Buckwalter A, Rydberg J, Rankin JL, Choplin RH [2006] **Multichannel CT: Evaluating the spine in postoperative patients with orthopaedic hardware.** Radiographics 26: 97-110
- 208 Lee M-J, Kim S, Lee S-A, Song H-T, Huh Y-M, Kim D-H, Han SH, Suh J-S [2007] **Overcoming artefacts from metallic ortopaedic implants at high-field-strength mr imaging and multidetector ct.** Radiographics 27 (3) 791-803
- 209 Link TM, Berning W, Scherf S, Joosten U, Joist A, Engelke K, Daldrup-Link HE [2000] **CT of metal implants: reduction of artefacts using an extended scae technique.** J Comput Assist Tomogr 24 (1) 165-172

## **Erklärung**

„Ich, Sebastian-Klaas Krampe, erkläre, dass ich die vorgelegte Dissertationsschrift mit dem Thema: „Additive Applikation ventraler Plattensysteme bei dorso-ventraler Stabilisierung thorakolumbaler Wirbelsäulenverletzungen“ selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, ohne die (unzulässige) Hilfe Dritter verfasst und auch in Teilen keine Kopien anderer Arbeiten dargestellt habe.“

Datum

Unterschrift

## **Lebenslauf**

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

## **Danksagung**

Mein Dank für die Vergabe des Themas gilt Herrn PD Dr. med. F. Kandziora. Für die Betreuung sowie die Unterstützung und Motivierung während des gesamten Entstehungszeitraumes der vorliegenden Dissertationsschrift und insbesondere für die Mutsprechung im Rahmen der Teilnahme am DGU-Kongress 2006 möchte ich mich herzlich bei meinem Betreuer Dr. med. Klaus John Schnake bedanken. Ich wünsche ihnen beiden für die weitere berufliche und private Zukunft alles Gute.

Mein Dank gilt ebenso meiner Frau Beata für das hohe Maß an Geduld, welches sie mir entgegenbringt sowie meinen Eltern Angela und Gerd Krampe, ohne deren Unterstützung ich nicht in der Lage gewesen wäre, diese Arbeit zu leisten.